Ano 2022

Marcos Aurelio Alves

Aplicação da METODOLOGIA DESIGN FOR LEAN SIX SIGMA no processo de desenvolvimento de produto em uma empresa de autopeças

Ano 2022

Marcos Aurelio Alves

Aplicação da METODOLOGIA DESIGN FOR LEAN SIX SIGMA no processo de desenvolvimento de produto em uma empresa de autopeças

CIÊNCIAS
EXATAS E
DA TERRA E
ENGENHARIAS

Atena
Editora
Ano 2022

Aplicação da metodologia design for lean six sigma no processo de desenvolvimento de produto em uma empresa de autopeças

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Autores: Marcos Aurelio Alves
Miroslava Hamzagic

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A474 Alves, Marcos Aurelio
Aplicação da metodologia design for lean six sigma no processo de desenvolvimento de produto em uma empresa de autopeças / Marcos Aurelio Alves, Miroslava Hamzagic. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0440-8
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.408222908

1. Six sigma (Padrão de controle de qualidade). 2. Administração de produção. 3. Controle de produção. I. Alves, Marcos Aurelio. II. Hamzagic, Miroslava. III. Título.
CDD 658.5

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

Dedico este trabalho a minha irmã Ana e meus afilhados (Mariana de Fátima e João Gabriel), que seja um incentivo para o futuro profissional de ambos.

AGRADECIMENTOS

Ao terminar esta pesquisa, muitos são os agradecimentos:

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por cuidar de minha vida e dispor em meu caminho pessoas especiais que sustentaram esta jornada.

A Professora Doutora Miroslava Hamzagic, pela orientação, pela sensibilidade e carinho em conduzir suas opiniões sem interferir no modo que eu expunha minhas ideias.

Ao Professor Mestre Ivair Alves dos Santos, pelas excelentes aulas que deram alicerce para o início desta pesquisa, pelo carinho e pela participação na orientação no meu trabalho.

Aos membros da banca, o Professor Doutor Cesar Augusto Botura e a Professora Doutora Valesca Alves Corrêa, pelas importantes contribuições à pesquisa e pelas orientações realizadas com enorme competência e cortesia.

A minha família, em especial a minha irmã, por incentivar nos momentos difíceis e por inúmeras vezes ter deixado seus afazeres para ler e dar sugestões no meu trabalho.

Agradeço a todos os doutores que ministraram as disciplinas no curso de Mestrado, a franca troca de experiências e as suas aulas ministradas para o grupo de mestrando nesta instituição.

Agradeço de forma especial ao presidente, aos gestores e aos funcionários da organização onde essa pesquisa foi desenvolvida. Obrigado pela acolhida para meu crescimento profissional nestes 26 anos, que contribuíram para a realização desta trajetória acadêmica.

À meu grande amigo Marcelo Lopes, pelo suporte técnico que possibilitou o desenvolvimento de vários caminhos para este trabalho.

A Universidade de Taubaté pela oportunidade de executar esta pesquisa.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que fosse realizada esta pesquisa.

“A mais bela experiência que podemos ter
é o mistério. É a emoção fundamental
que está no berço da verdadeira
arte e da verdadeira ciência “

(Albert Einstein)

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS 1

RESUMO 3

ABSTRACT 4

INTRODUÇÃO 5

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA 7

QUESTÃO DE PESQUISA 8

HIPÓTESE 8

JUSTIFICATIVA 8

OBJETIVOS 9

Objetivo Geral 9

Objetivos Específicos 9

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 9

REVISÃO DA LITERATURA 11

EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO 11

SISTEMÁTICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO 13

Estratégia do Funil para o PDP 15

Estratégia da Espiral para o PDP 15

Ferramenta APQP no Gerenciamento do PDP 18

Metodologia *Six Sigma* no PDP 19

Cultura *Lean* no Gerenciamento do PDP 23

Design for Six Sigma (DFSS) 26

Design for Lean Six Sigma (DFLSS) 27

RELAÇÃO DAS MONTADORAS COM OS FORNECEDORES NO PDP 31

NORMA IATF 16949 32

CINTO DE SEGURANÇA AUTOMOTIVO 35

Evolução do cinto de segurança 35

Componentes do cinto de segurança de 3 Pontos 36

Dispositivo de bloqueio 38

DETALHAMENTO DAS METODOLOGIAS ... 41
FERRAMENTA APQP ... 41
Fase 1 – Planejar e Definir o Programa ... 42
Fase 2 – Projeto e Desenvolvimento do Produto ... 44
Fase 3 – Projeto e Desenvolvimento do Processo ... 45
Fase 4 – Validação do Produto e Processo ... 47
Fase 5 – Lançamento, *Feedback*, Avaliação e Ação Corretiva ... 48
METODOLOGIA *DESIGN FOR LEAN SIX SIGMA* ... *50*
Direcionamento da Metodologia DFLSS ... 50
Estrutura da Equipe *Lean Six Sigma* ... 52
Os *Sponsors* ... 53
Os *Champions* ... 53
Os *Black Belts* ... 54
Os *Green Belts* ... 54
Os *Yellow Belts* ... 55
Os *White Belts* ... 55
MÉTODO DMAIC ... 55
Etapa D, *DEFINE* ... 57
Etapa M, *MEASURE* ... 59
Etapa A, *ANALYZE* ... 61
Etapa I, *IMPROVE* ... 63
Etapa C, *CONTROL* ... 65
MÉTODO DMADV ... 68
Etapa D, *DEFINE* ... 70
Etapa M, *MEASURE* ... 70
Etapa A, *ANALYZE* ... 71
Etapa D, *DESIGN* ... 71
Etapa V, *VERIFY* ... 73
METODOLOGIA DA PESQUISA ... 75
PESQUISA CIENTÍFICA ... 75
MÉTODO DE PESQUISA ... 75

CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA... 75
Tipo de Pesquisa em Relação a sua Natureza.. 76
Tipo de Pesquisa em Relação aos seus Objetivos 76
Tipo de Pesquisa em Relação aos Procedimentos Técnicos 77
Tipo de Pesquisa em Relação a Abordagem do Problema................................ 78
COLETA DE DADOS 79
CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA APLICADA NESTE TRABALHO......................... 80
ESTUDO DE CASO 85
DESCRIÇÃO DA EMPRESA.. 85
PROPOSTA DO PROJETO... 86
IMPLEMENTAÇÃO DO FLUXO PROPOSTO 87
Apresentação do produto 87
Motivo da escolha... 88
Aplicação da metodologia DFLSS 89
Aplicação da Etapa Define 89
Aplicação da Etapa Measure 98
Aplicação da Etapa Analyze.. 102
Aplicação da Etapa Design 104
Aplicação da Etapa Verify.. 108
QUANTIFICAR O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO..........................111
RESULTADOS E DISCUSSÃO 116
GERENCIAMENTO DO PROJETO 116
COMENTÁRIOS SOBRE O PROJETO APQP/DMADV...117
CONCLUSÃO...120
RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.. 120
REFERÊNCIAS 122
ANEXOS...128
ANEXO A – DFMEA I.. 128
ANEXO B – DFMEA II 128
SOBRE OS AUTORES 130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas (*Brazilian Association of Technical Standards*)
AIAG	Grupo de Ação da Indústria Automotiva (*Automotive International Action Group*)
ANOVA	Análise de Variância *(Analysis of Variance)*
APQP	Planejamento Avançado da Qualidade do Produto (*Advanced Product Quality Planning*)
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (*Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations*)
CAD	Desenho Auxiliado por Computador (*Computer Aided Design*)
CAE	Engenharia Assistida por Computador (*Computer Aided Engineering*)
CEO	Diretor Executivo *(Chief Executive Officer)*
CTQ	Crítico para a Qualidade (*Critical to Quality*)
DFLSS	Projetar para o Lean Seis *Sigma* (*Design for Lean Six Sigma)*
DFMEA	Análise de Modo e Efeito de Falha no Projeto (*Design Failure Module Engineering Analysis*)
DFSS	Projetar para o Seis *Sigma* (*Design for Six Sigma*)
DMADV	Definir, Medir, Analisar, Projetar e Verificar (*Define, Measure, Analyze, Design and Verify*)
DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*)
DNP	Desenvolvimento de Novos Produtos (*New Products Development*)
DOE	Projeto de Experimento *(Design of Experiment)*
DPBO	Defeito por bilhões de oportunidades *(Defect by Billions of Opportunities)*
DQS	Associação Alemã para Certificação de Sistemas de Gestão (*German Association for Management Systems Certification*)
FMEA	Análise de modos de falha e seus efeitos (*Failure mode and effect Analysis*)
GE	*General Electric (General Electric)*
IATF	Força-Tarefa Automotiva Internacional (*International Automotive Task Force*)
IDDOV	Identificar, Definir, Desenvolver, Otimizar e Verificar *(Identify*, *Define*, *Develop*, *Optimize* and *Verify)*
ISO	Organização Internacional para Padronização *(International Organization for Standardization)*
LSE	Limite Superior Especificado (*Upper Specified Limit*)
LIE	Limite Inferior Especificado (*Lower Specified Limit*)
MAIC	Medir, Analisar, Melhorar e Controlar *(Measure*, *Analyze*, *Improve and Control)*
NBR	Norma Brasileira (*Brazilian Standard*)
NPR	Número de Prioridade de Risco (*Number of Risk Priority*)

PDCA	Planejar, Fazer, Verificar e Agir *(Plan, Do, Check and Act)*
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos (*Product Development Process*)
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento (*Research and Development*)
PFMEA	Análise de Modo e efeitos de Falha no Processo (*Process Failure Module Engineering Analysis*)
PPAP	Processo de Aprovação de Peças de Produção (*Production Part Approval Process*)
PPM	Partes por milhão (*Parts per million*)
QFD	Implementação da função qualidade *(Quality Function Deployment)*
QS	Requisitos do Sistema de Qualidade *(Quality System Requirements)*
SIPOC	Fornecedor, Entrada, Processo, Saídas e Cliente *(Supplier, Input, Process, Outputs and Customer)*
TS	Especificação Técnica *(Technical Specification)*
VOC	Voz do Cliente *(Voice of Customer)*

RESUMO

Nas últimas décadas, a contínua evolução da indústria automotiva, acompanhada dos sistemas de gestão de desenvolvimento de produtos, proporcionou novos desafios, dentre os quais, o planejamento e cumprimento rigoroso de todas as etapas e prazos sem perder o objetivo do atendimento das mais variadas expectativas dos clientes. O desenvolvimento de produto necessita de uma gestão que apresente todos os potenciais modos de falhas, sistematicamente, conduzindo projetos que atendam às necessidades dos clientes com baixos custos de venda para o mercado. Diante deste cenário, este trabalho teve como objetivo apresentar os benefícios obtidos com a utilização do método Definir, Medir, Analisar, Projetar e Verificar (DMADV) na melhoria das atividades de desenvolvimento de novos produtos. Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma pesquisa qualitativa, contemplando ampla pesquisa bibliográfica das metodologias empregadas em gestão de desenvolvimento de produto e um estudo de caso em uma empresa de cinto de segurança automotivo. A utilização das atividades do método DMADV, descrita na metodologia *Design for Lean Six Sigma* (DFLSS), na segunda fase do Planejamento Avançado da Qualidade do Produto (APQP), resultou em melhor gerenciamento das atividades executadas pela equipe de desenvolvimento de produto, comprovando que foi possível desenvolver uma solução mais robusta e assertiva. Conclui-se que a utilização da metodologia promoveu maior visão aos responsáveis pelo desenvolvimento dos produtos, forneceu à área uma visão *Six Sigma*, atendeu as metas estabelecidas pelo cliente e não gerou gastos adicionais na correção de problemas característicos desta fase.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento de Produto. Lean *Six Sigma*. APQP. DMADV.

ABSTRACT

In the last decades, the continuous evolution of the automotive industry, accompanied by product development management systems, has provided new challenges, among which, the planning and strict compliance of all stages and deadlines without losing the objective of meeting the most varied customer expectations. The product development needs a management that presents all the potential failure modes, systematically, conducting projects that meet the customers' needs with low sales costs to the market. In this scenario, this work aimed to present the benefits obtained by using the Define, Measure, Analyze, Design and Verify (DMADV) method to improve new product development activities. For the development of this work, a qualitative research was conducted, including a broad bibliographic research of the methodologies used in product development management and a case study in an automotive safety belt company. The use of the DMADV method activities, described in the DFLSS methodology, in the second phase of APQP, resulted in better management of the activities performed by the product development team, proving that it was possible to develop a more robust and assertive solution. It is concluded that the use of the methodology promoted greater vision to those responsible for product development, provided the area with a *Six Sigma* vision, met the goals set by the customer, and did not generate additional expenses in the correction of characteristic problems of this phase.

KEYWORDS: Product development. Lean *Six Sigma*. APQP. DMADV.

INTRODUÇÃO

Durante décadas o assunto referente ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), utilizou como referência o setor automotivo. Isto acontece devido às grandes renovações tecnológicas deste setor e os elevados investimentos nas áreas de pesquisa e desenvolvimento, tornando-as eficazes e inovadoras em lançar produtos. De acordo com Condotta (2004), ao longo dos anos, o setor automotivo gerencia a maneira de desenvolver e lançar novos produtos, além de ter uma intensa renovação tecnológica, possuindo uma grande força em pesquisa e desenvolvimento. A concorrência tem tornado as mudanças tecnológicas muito intensas, o ciclo de vida dos produtos cada vez menores e os clientes exigindo mais dos produtos. Estes fatores obrigam as organizações a terem maior produtividade, agilidade e qualidade, dependendo impreterivelmente da eficácia e eficiência no PDP (ROZENFELD, *et al.* 2012).

A velocidade com que o mercado promove as alterações nos produtos, tem causado uma forte pressão nas organizações mundiais (CONDOTTA, 2004). Esta forma de concorrência, com alta diversidade e baixos custos, tem levado as organizações a adotarem metodologias e ferramentas de trabalho, onde as mais empregadas são: *Advanced Product Quality Planning* (APQP), uma série de técnicas e procedimentos utilizados para gerenciar a qualidade produtiva (AIAG, 2008); *Six Sigma*, um grupo de técnicas desenvolvidas originalmente pela Motorola, focada em aperfeiçoar de forma sistêmica os processos e eliminar inconformidades de um serviço ou produto (WERKEMA, 2020-a); *Lean Manufacturing* ou produção enxuta, uma metodologia de gestão também conhecida como Sistema Toyota de Produção, dedicada em reduzir desperdícios para melhorar a qualidade e diminuir o custo de produção (WERKEMA, 2020-a).

As indústrias automotivas desenvolveram a ferramenta APQP. Ela tem como função básica, estabelecer um fluxo de maneira padronizada entre os departamentos internos e os fornecedores, partindo de uma série de atividades determinadas, para os departamentos executarem, e de um cronograma do projeto. A ferramenta APQP foi inicialmente elaborada para atender as montadoras americanas (GM, Ford e Chrysler), que tinham como meta, a facilidade na comunicação entre os envolvidos na fabricação e no desenvolvimento de produto, garantindo o cumprimento das atividades dentro do prazo (SILVA, *et al*. 2010).

O PDP utiliza ferramentas importantes para o seu gerenciamento, capazes de melhorar o seu desempenho na satisfação dos clientes, sendo responsável por um diferencial da organização na competitividade de seus produtos a longo prazo (CLARK; FUJIMOTO, 1991).

Algumas organizações necessitam de grande mudança em sua cultura, porque não percebem a importância da utilização de uma metodologia para o PDP, que garanta

um processo sistêmico e estruturado no decorrer de todas as atividades, iniciando no planejamento do produto, passando por todas as etapas e finalizando no lançamento para o mercado. Somente a adoção de métodos de apoio não solucionam problemas na estrutura de gerenciamento do PDP, é necessário implementar mudanças culturais e comportamentais simultaneamente a esta adoção (TOLEDO, *et al.* 2002).

Nas últimas décadas, as indústrias automotivas sofreram com várias mudanças como alto custo, escassez de mão de obra, fatores econômicos e com diminuição de crescimento, em países desenvolvidos. Isto levou-as a optar por formas colaborativas no desenvolvimento de seus projetos, ou seja, desenvolvimento de forma integrada (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

As organizações estão utilizando metodologias embasadas em melhoria contínua. Com isto estão alcançando o auge do seu desempenho em relação a competitividade e a complexidade dos diferentes mercados. Buscando estabelecer práticas consagradas e robustas, motivando mudanças substanciais no processo produtivo. A metodologia *Lean Six Sigma* mescla a filosofia *Lean* com a exatidão e rigor do *Six Sigma*. Os resultados positivos esperados com esta metodologia requerem o desenvolvimento das competências dos colaboradores. Tanto o *Six Sigma* quanto o *Lean Manufacturing* são metodologias aplicadas em processos, sendo que o *Six Sigma* procura extinguir os parâmetros que variam no processo, estes são responsáveis em afetar as peculiaridades de qualidade do produto e o *Lean Manufacturing* procura diminuir os desperdícios no processo (FERNANDES; MARINS, 2012).

Na metodologia *Six Sigma* é aplicada uma abordagem estruturada na execução das atividades de melhoria contínua dos processos. Esta abordagem é o método DMAIC (*Define/ Measure/ Analyse/ Improve/ Control*). Este método é fundamentado no ciclo PDCA (*Plan/ Do/ Check/ Act*). As técnicas e ferramentas da gestão da qualidade utilizadas em cada etapa do DMAIC é especificada na metodologia *Six Sigma* (PANDE, 2001).

Da integração entre as duas, deu-se o *Lean Six Sigma*. Com ela é possível gerar melhoria contínua, tornar os processos e produtos mais otimizados e agregar sustentabilidade.

O *Design for Lean Six Sigma* (DFLSS) é uma valiosa metodologia utilizada no PDP, buscando equilibrar o custo, o prazo e a qualidade. Esta metodologia foi utilizada pela primeira vez na *General Electric* (GE) e depois propagada para outras empresas. O método mais popular para a implantação da metodologia DFLSS é o DMADV (*Define, Measure, Analyze, Design and Verify*). Todas as etapas devem ser executadas por uma equipe multifuncional que é responsável pelo projeto do novo produto. O *Design for Six Sigma*

(DFSS) é uma metodologia que tem como objetivo a compreensão exata de todas as fases de um projeto, evitando retrabalhos e futuras correções (WERKEMA, 2012).

As empresas de autopeças precisam acompanhar as expectativas do mercado para o desenvolvimento de produtos. Elas necessitam estarem prontas para responder as necessidades dos clientes e fornecerem seus produtos com precisão de entrega, com qualidade e preço competitivo.

Este trabalho realizou o estudo de caso em uma empresa de cinto de segurança. Esta empresa, trabalha alinhada com as exigências para gerenciamento do desenvolvimento de produto das empresas automotivas, tendo como diretrizes, trabalhar neste gerenciamento utilizando as atividades descritas na ferramenta APQP. O foco deste trabalho é definir uma alteração na segunda fase da ferramenta APQP, utilizando as atividades do DMADV da metodologia DFLSS, esta alteração é importante porque proporciona maior visão à equipe de desenvolvimento de produto, trazendo uma quantidade maior de atividades, estabelecendo maior visão para uma definição mais assertiva no desenvolvimento de uma solução e eliminando desperdícios com retrabalhos, esperas e ensaios. A Figura 1 ilustra um fluxograma com as fases do APQP, substituindo as atividades da segunda fase pelo método DMADV.

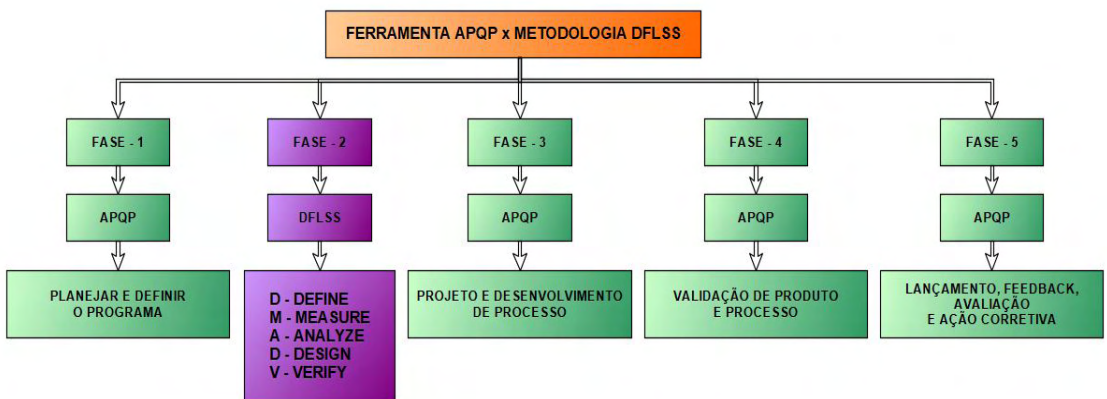



Figura 1 - Ferramenta APQP x Metodologia DFLSS

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O gerenciamento do desenvolvimento de produto, em empresas automobilísticas e em outras de vários segmentos é um diferencial para a sobrevivência no mercado,

necessitando atender os prazos e os requisitos do cliente. A implantação de duas metodologias conhecidas e consagradas em gerenciamento de produto, o APQP e o DMADV, trará uma visão das atividades e documentações que definirão a melhor solução a ser implementada, para que seja obtido sucesso no produto final. Na fase de desenvolvimento de produto, a engenharia de desenvolvimento de produto, muitas vezes não tem todas as atividades mapeadas. Sendo assim, a utilização destas metodologias diminuirá os riscos e impactos nas novas soluções.

É importante conhecer as atividades envolvidas em cada etapa do desenvolvimento de produto, para garantir o sucesso da sua implantação na empresa.

QUESTÃO DE PESQUISA

Com base na formulação e no contexto do problema, aqui retratados, para desenvolver o sucesso na implementação da união da metodologia APQP e DMADV, este trabalho procurará responder a seguinte questão de pesquisa:

De que maneira a união de duas metodologias consagradas, APQP e DMADV, podem auxiliar num melhor planejamento do desenvolvimento de produto?

HIPÓTESE

Acredita-se que a questão de pesquisa a ser respondida, é definida inicialmente com base na literatura e em experiência profissional com valor cientifico. A utilização conjunta das duas ferramentas consagradas, APQP e DMADV, utilizadas em empresas automotivas, consolida um melhor gerenciamento de desenvolvimento de produto.

JUSTIFICATIVA

A pesquisa aqui apresentada é voltada para um assunto que se destaca no campo científico. Partindo da unificação das atividades voltadas para qualidade de empresas como Ford, Chrysler e General Motors, vários trabalhos científicos despontam com a ideia da unificação das exigências em somente uma norma mundial (PIMENTA, 2009).

Quando o mercado é constrangido a crises e falta de desenvolvimento econômico, para o atendimento da expectativa dos clientes, é necessária a utilização de ferramentas e técnicas eficazes (HAMMER, 2002).

A ideia de aprimorar a metodologia da ferramenta APQP, disseminada na cadeia automotiva, referenciada ao desenvolvimento de produto, permitiu a criação de um

alicerce para o processo mediante a utilização do método DMADV na segunda fase do APQP, esta mudança foi sustentada pela necessidade de demandar muitos esforços no desenvolvimento de produto e na falta de padronização na gestão deste desenvolvimento. O entendimento do funcionamento destes mecanismos de gestão é parte fundamental para alcançar os benefícios, sejam eles para a sociedade ou ao meio científico. Um dos pontos fortes da metodologia DFLSS é a sua estruturação, que, quando empregada em PDP, proporciona um cenário disciplinado para os seus usuários.

Desta maneira, essa pesquisa pretende executar princípios da metodologia *Design for Lean Six Sigma* no PDP de uma empresa automotiva de cinto de segurança, com a finalidade de implementar ferramentas de gerenciamento de projeto na segunda fase do APQP, assegurando uma metodologia documentada desta fase, qualidade no desenvolvimento do produto e garantindo baixos custos.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar os benefícios obtidos com a utilização do método DMADV na melhoria das atividades de desenvolvimento de novos produtos.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Apresentar uma revisão bibliográfica sobre desenvolvimento de produtos;
- Apresentar uma pesquisa teórica sobre DFLSS e suas variantes;
- Apresentar os principais problemas oriundos da fase de PDP e implicações.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está estruturado em capítulos descritos da seguinte maneira:

- O primeiro capítulo introduz o leitor ao estudo do tema, apresentando o problema da pesquisa, formulando perguntas, situando o leitor no contexto que a pesquisa será aplicada, seguido da hipótese e da justificativa, o objetivo geral, objetivos específicos e com a organização da dissertação;
- O segundo e terceiro capítulos fazem um referencial teórico para os conceitos sobre PDP, descrevendo as ferramentas utilizadas neste processo, com ênfase nos métodos utilizados na gestão de desenvolvimento de produtos das empresas automotivas. Apresenta também a norma que gerencia estes processos,

entre as montadoras e seus fornecedores;

- O quarto capítulo apresenta o referencial teórico das metodologias de pesquisa, definindo a metodologia proposta aplicada nesta dissertação.
- Na sequência, tem-se o quinto capítulo, abordando o estudo de caso realizado em uma empresa automotiva de cinto de segurança, iniciando-se com a descrição da empresa, seguida de proposta e implementação de um novo fluxo de gestão, com a utilização da metodologia APQP e DFLSS;
- Nos capítulos 6 e 7 são descritos os resultados com as discussões produzidas neste trabalho, determinando os pontos fortes e fracos da proposta da segunda fase do APQP quando gerenciada com o método DMADV, finalizando com a conclusão e intenção para trabalhos futuros.

REVISÃO DA LITERATURA

EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

A indústria automotiva após a primeira guerra mundial evoluiu da produção artesanal, que apresentava altos custos de produção e baixa confiabilidade, para um sistema de produção que atendesse uma demanda maior e fosse mais confiável. Utilizando como base as técnicas sistêmicas da Ford, que tinha como meta a padronização de peças, para que montassem em diferentes categorias de carros. O conceito de peças intercambiáveis, possibilita a padronização de projetos, um número menor de falhas na linha de montagem e aumento da qualidade do produto (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

Posteriormente à Segunda Guerra Mundial, nas indústrias japonesas despontava o Sistema Toyota de Produção, com o objetivo de solucionar contratempos de baixa produtividade. Sakichi Toyoda, Taiichi Ohno e Kiichiro Toyoda uniram-se para buscar o aumento da produção mediante a eliminação de desperdícios, diminuindo os problemas de qualidade, promovendo a realização de melhores inspeções, a concepção de produtos sem correções e não geração de refugos. Em virtude dos fatores socioeconômicos, o surgimento destes dois sistemas, o Sistema Fordista e seguidamente o Sistema Toyota de Produção, como reação aos acontecimentos do período em que estavam sendo desenvolvidos, conceberam grande contribuição para a evolução do desenvolvimento de produto, garantindo a padronização de projetos, o aumento da qualidade e a eliminação de desperdícios (TAIICHI, 1988).

O processo de desenvolvimento de produtos na década de 70 foi um marco para a indústria automotiva, tendo como foco a inovação de produtos, objetivando garantir a fidelidade do mercado consumidor. Sempre com a finalidade de conter a invasão da concorrência, este procedimento possibilitou a modernização e crescimento neste setor. Para acompanhar as montadoras, as empresas de autopeças adquiriram máquinas modernas e buscaram aprimoramento nos métodos e processos para garantir a qualidade dos seus produtos (TOLEDO, *et al.* 2002).

Normalmente as indústrias automotivas norteiam as sistemáticas descritas no manual do APQP, por ser uma exigência da IATF 16949:2016, que é considerada uma norma do Sistema de Gestão da Qualidade, no setor. O atendimento das recomendações presentes nestes manuais facilita a certificação dessas indústrias. Com a certificação concedida, a indústria qualifica-se para fornecer às montadoras, para negociar novos projetos e para expandir seus negócios. O APQP oferece diretrizes para planejar o desenvolvimento do produto, garantindo a qualidade e evitando desperdícios, apresentando benefícios ao desenvolvimento de produto ou serviço, tendo como propósito a padronização das

sistemáticas da qualidade, para que os fornecedores atendam aos requisitos das montadoras sem esforços desnecessários e acréscimo no valor do produto (AIAG, 2008).

As montadoras desenvolvem e aplicam processos disciplinados para o desenvolvimento de novos produtos. Estes desenvolvimentos requerem a utilização de mais tecnologia em menor tempo. Para a permanência neste cenário, as empresas de autopeças necessitam se adaptar e atender às exigências normativas. O PDP desenvolve-se num conjunto de atividades, que direcionam para a eficácia do projeto de um produto e de um processo produtivo, seguindo as necessidades do mercado e suas exigências legais, as tecnologias, as partes financeiras e o tempo (ROZENFELD, *et al.* 2012).

O desenvolvimento de produto é realizado com as informações necessárias do mercado, buscando atender as especificações de projeto e processo, podendo ser compreendido através de todas as atividades necessárias para transformar as dificuldades do mercado e as possibilidades tecnológicas em referências para o sistema produtivo. Pode ser dividido em três fases: pré desenvolvimento, desenvolvimento e pós desenvolvimento.

A fase do pré desenvolvimento é incumbida pela totalidade de produtos de uma empresa e sua associação com os mercados que se almeja atingir, considerando as tecnologias da empresa e estratégias de mercado (ROZENFELD, *et al.* 2012). A fase de desenvolvimento é formada por quatro etapas, iniciando no projeto informacional, com a responsabilidade de criar metas e especificações para o produto que será desenvolvido, seguido pelo projeto conceitual, com a missão de gerar soluções para o projeto e definir a melhor diretriz para o desenvolvimento. Posteriormente o projeto detalhado, com a responsabilidade de planejar a concepção do produto, com a finalidade de transformá-las em especificações finais, e por fim, a preparação da produção, garantindo a certificação do produto através dos resultados realizados nas corridas pilotos e finalizando no lançamento do produto (ROZENFELD, *et al.* 2012). Na Figura 2 são ilustradas as fases do desenvolvimento de produto, esquematizada num fluxograma.

Figura 2 - Fases do Processo de Desenvolvimento de Produto

Fonte: Adaptado de Rozenfeld, *et al.* (2012)

A fase do pós desenvolvimento é designada para acompanhamento do produto e processo, tem a função de analisar o processo a partir do seu início, para que sejam evidenciados os erros acontecidos neste projeto e evitados nos próximos desenvolvimentos (ROZENFELD, *et al.* 2012).

SISTEMÁTICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Existem diversas literaturas descrevendo as sistemáticas utilizadas para o desenvolvimento de produto, todas com o objetivo de transformar uma ideia em realidade, projetando e desenvolvendo um produto viável financeiramente e que atenda às normas governamentais e exigências do mercado.

As sistemáticas para o desenvolvimento de produto são estruturadas em fases, etapas e atividades, utilizando ferramentas e métodos para gerenciar as informações necessárias em um desenvolvimento. Numa visão macro, inicia-se no planejamento do produto, seguido do projeto e finalizando na realização do produto. De acordo com Clark e Fujimoto (1991), existem cinco fases para organizar o desenvolvimento de um produto, conforme apresentado na Figura 3.

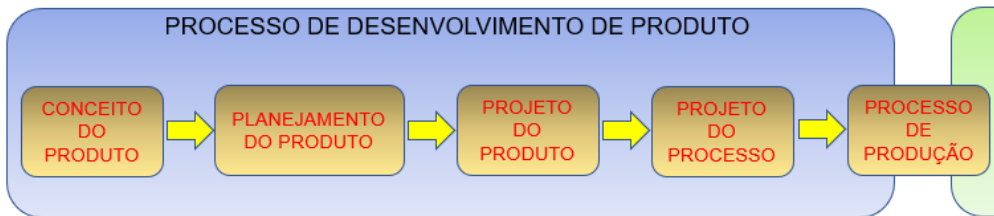



Figura 3 - Fases do Processo de Desenvolvimento de Produto, PDP

Fonte: Adaptado de Clark e Fujimoto (1991)

Cada uma das fases apresentadas na Figura 3 definem um significado e um grau de importância para o PDP. De acordo com Clark e Fujimoto (1991) elas significam:

- Conceito do produto é a fase inicial, que visa uma análise abrangente do produto, lista as necessidades dos clientes interessados, averigua os produtos similares dos concorrentes, investiga os riscos do projeto e a viabilidade econômica. Determina preliminarmente os objetivos técnicos, como dados de engenharia introdutório, materiais a serem utilizados e processo de fabricação;
- Planejamento do produto é a segunda fase, que tem o objetivo de esmiuçar as concepções preliminares da fase anterior. Aprofunda-se nas especificações requeridas pela engenharia, exequibilidade do processo, *design* e que permite até realizar a confecção de peças conceituais para avaliação do conceito do produto;
- Projeto do produto é a terceira fase que objetiva transformar o conceito do projeto definido nas fases anteriores em desenhos, incluindo características para representar o produto em nível final. Os protótipos (modelos funcionais) para avaliação do projeto, poderão ser construídos nesta fase;
- Projeto do processo: nesta fase é elaborado o processo para a idealização do produto, com os dados do projeto do produto. É nesta fase, também, que são elencadas as necessidades de maquinários, mão de obra e ferramentais, avaliando a capacidade do processo idealizado durante a corrida-piloto;
- Processo de produção é a fase final, começa na pré-produção do produto com a finalidade de avaliar em condições normais, o processo e o projeto do produto, avaliando o desempenho do projeto antes da produção em massa. Nesta fase também se define ajustes finais no processo e no projeto do produto.

As sequências apresentadas, não determinam uma imposição a ser seguida para o desenvolvimento do produto. Durante os desenvolvimentos existem decisões tomadas em fases seguintes, com informações de fases anteriores, mesmo que estas fases não estejam completamente finalizadas.

Estratégia do Funil para o PDP

Clark e Wheelwright (1993), apresentam uma forma simplificada de PDP por meio de um funil que transformam ideias em produto. Na entrada do funil estão as várias ideias que serão investigadas. As mais promissoras são selecionadas para que seja definida a mais viável, com a finalidade de realizar o projeto deste produto. Após esta definição, o processo é acelerado para que sejam alocados os recursos para finalizar o desenvolvimento do produto e introduzi-lo no mercado. A Figura 4 apresenta o conceito do funil, sendo que as ideias para investigação são representadas pelos quadrados laranjas e as ideias que são aplicadas ou desenvolvidas estão nos quadrados verdes.

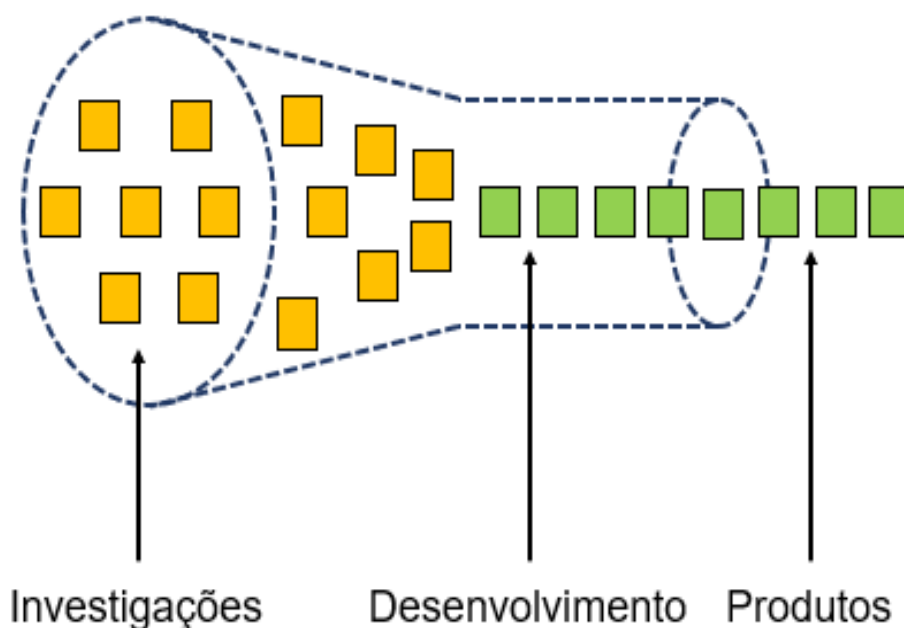



Figura 4 - Funil do desenvolvimento de produto

Fonte: Adaptado de Clark e Wheelwright (1993)

Estratégia da Espiral para o PDP

Outra maneira de apresentar o PDP em uma sequência lógica é o conceito de espiral de projeto, menos sequencial e com mais interatividade, existindo um refinamento do projeto em cada espiral, convergindo para a produção do produto numa configuração final (KAMINSKI, 2000). A Figura 5 ilustra a Espiral de Kaminski desenvolvida por Guiguer Filho (2005), utilizando como exemplo o desenvolvimento de um componente automotivo

desenvolvido por uma empresa de autopeças. Os diversos departamentos envolvidos interagem continuamente, cada passagem da espiral pela linha radial determina um ponto, significando uma interação entre a área e a evolução do desenvolvimento.

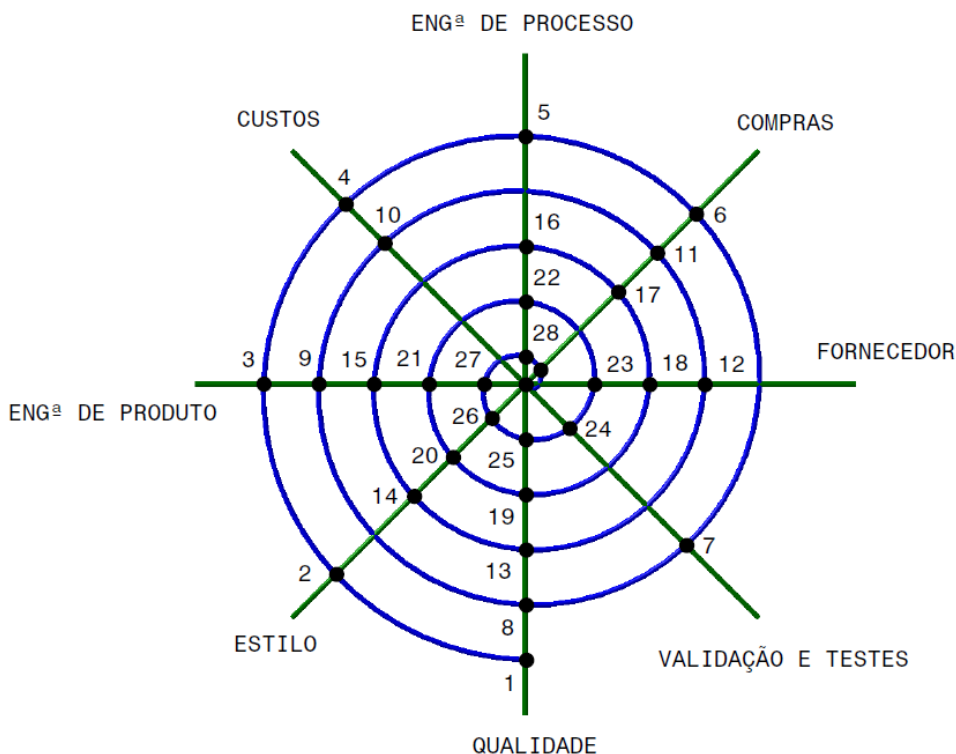



Figura 5 - Espiral do PDP

Fonte: Adaptado de Guiguer Filho (2005)

As atividades definidas nestes pontos numerados na espiral, não necessitam interagir com todas as áreas. Para o produto exemplificado na espiral, foi utilizado todas as áreas para questão didática. A área de estilo, por exemplo, terá interação quando o produto for um item de aparência no veículo. Segundo Guiguer Filho (2005), as atividades em cada ponto numerado, são definidas da seguinte forma:

- (1) A Área da Qualidade verifica o histórico de produtos similares e realiza o levantamento dos problemas ocorridos para que não ocorra novamente;
- (2) A Área do Estilo realiza um croqui para apresentar um conceito de aparência inicial para o produto a ser desenvolvido;
- (3) A Engenharia de Produto realiza uma pesquisa nos produtos existentes na

empresa ou nos concorrentes (*benchmarking*), para verificar as similitudes e iniciar os estudos para este novo conceito de produto. É também realizado um levantamento dos recursos (internos e externos) que serão utilizados no desenvolvimento e na validação do produto, descrevendo um cronograma preliminar com as atividades;

- (4) O Departamento de Custos inicia os estudos para determinar o custo do produto e o investimento necessário para ferramentais e processos produtivos, baseando-se nas definições do novo produto;
- (5) A Engenharia de Processo realiza um estudo dos impactos que o novo produto trará para o processo fabril, verificando a necessidade de adaptação dos dispositivos existentes ou aquisição de novos, determinando também os requisitos dos processos necessários para o novo produto;
- (6) O Departamento de Compras realiza uma listagem preliminar dos fornecedores com potencial para atender o programa, levando em consideração a situação comercial dos fornecedores com a empresa;
- (7) O Departamento de Validações e Testes consulta os históricos dos ensaios e validações para fazer uma correlação com o produto em desenvolvimento, levando em consideração as experiências e os procedimentos dos desenvolvimentos anteriores;
- (8) A Área da Qualidade realiza um estudo das competências dos fornecedores no quesito qualidade, levando em consideração a capacidade produtiva;
- (9) A Engenharia de Produto reúne todas as informações obtidas até o momento, definindo as especificações do produto com seus requisitos e as principais características técnicas;
- (10) O Departamento de Custos recebe as especificações mais detalhadas do produto, para determinar o custo e o investimento a serem utilizados no processo de cotação;
- (11) O Departamento de Compras, baseando-se nos requisitos do produto e nas especificações técnicas, inicia o processo de cotação, solicitando propostas e soluções dos potenciais fornecedores, através de reuniões de revisão técnica (*Technical Reviews*);
- (12) Os fornecedores que estão participando da cotação, necessitam preparar suas propostas comerciais e técnicas, plano de validação para o novo produto e incluir uma proposta de cronograma para o desenvolvimento;
- (13 – 16) Nestas fases, cada fornecedor, ao participar das reuniões de revisão técnica (*Technical Reviews*), deverá debater e discutir as propostas com as áreas da empresa envolvida no processo;
- (17) O Departamento de Compras assegura o fornecedor que será responsável pelo desenvolvimento do produto;

- (18) O Fornecedor estabelece as especificações técnicas detalhada do produto e realiza suas tarefas para o desenvolvimento;
- (19 – 22) Nestas fases, uma equipe multifuncional da empresa, acompanha as atividades do desenvolvimento do produto, na maioria das vezes é liderada por um gestor de projetos da engenharia de produto. Discute-se exaustivamente os detalhes do projeto, a interface com outros componentes, as características que deverão ser controladas, validações e o andamento das etapas e atividades determinadas no cronograma. Durante estas atividades, são executadas as ferramentas da qualidade (DFMEA, PFMEA, etc.) e realizado o desenho do produto;
- (23) O Fornecedor apresenta a primeira amostra do produto para validação de montagem, aprovação de aparência, etc.;
- (24) O Departamento de Validações e testes recebe a amostra e realiza os ensaios de validação determinados anteriormente, com os resultados emitem os relatórios de aprovação;
- (25) A Área da Qualidade avalia o processo produtivo do novo produto, para realizar a aprovação da capacidade e estabilidade do processo (PPAP);
- (26) A Área do Estilo executa a aprovação da aparência do novo produto;
- (27) A Engenharia de Produto executa a liberação final do novo produto e libera o início da produção;
- (28) A Engenharia de Processo, através de uma corrida-piloto (*pilot-run*), avalia a facilidade de montagem deste produto, na fábrica.

Ferramenta APQP no Gerenciamento do PDP

O APQP despontou em algumas montadoras americanas para suprir as necessidades e facilitar o gerenciamento das atividades no desenvolvimento de produto. Esta ferramenta foi desenvolvida pela General Motors, Ford e Chrysle*r*, sendo os seus procedimentos descritos no manual da AIAG. Encontra-se neste manual recomendações e diretrizes para o fornecedores realizarem o plano de desenvolvimento do produto, modelos de formulários padronizados, ferramentas de verificações (*checklist*) e outros mecanismos para acompanhar o desenvolvimento do projeto. De acordo com o AIAG (2006), as montadoras americanas requisitam a utilização da norma ISO/TS 16949. Portanto, a General Motors, a Chrysler e a Ford*,* desenvolveram uma sistemática chamada APQP, seus procedimentos foram detalhados no manual publicado pela AIAG.

O APQP pode ser definido como um método estruturado em cinco fases para o processo de desenvolvimento do produto, tendo o objetivo específico de garantir o atendimento das expectativas e necessidades do cliente, conforme acordado e com os prazos estabelecidos. A Figura 6 ilustra as cinco fases do APQP, que de acordo com

Pissinatti, Franco e Rezende (2014), é a principal ferramenta do Sistema QS9000, sendo que ela gerencia todo o desenvolvimento do fornecimento, com início no fechamento do contrato até a validação das peças em produção.

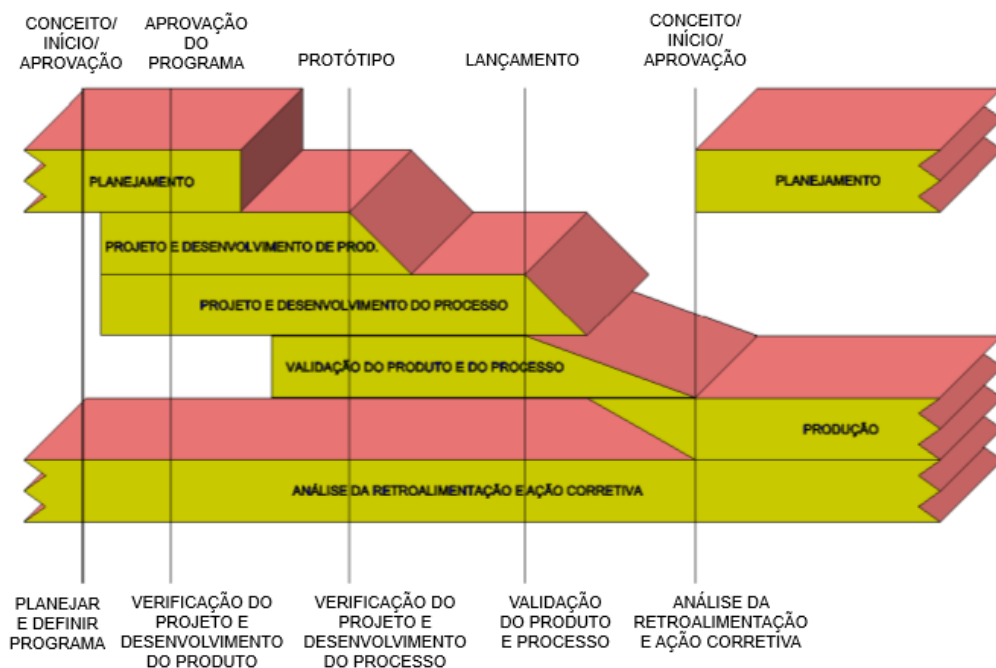



Figura 6 - Fases do processo de desenvolvimento do produto segundo o APQP

Fonte: Adaptado de AIAG (2008)

A meta principal do APQP é possibilitar uma comunicação e interação entre os envolvidos nos projetos, para que todas as etapas estabelecidas no cronograma, sejam finalizadas nos prazos determinados. O sucesso no planejamento da qualidade do produto, iniciará com o comprometimento da alta gerência da empresa, tendo alinhamento com o esforço necessário da equipe, para alcançar a satisfação do cliente (AIAG, 2008).

Metodologia *Six Sigma* no PDP

O *Six Sigma* é uma metodologia impulsionada pelas necessidades dos clientes, abordando melhoria de processos, produtos e serviços, com redução de variabilidade através de método quantitativo e visando alto retorno financeiro. Seu surgimento ocorreu na década de 80 na empresa Motorola, recebendo a nomenclatura oficial em 1987. Com o apoio da alta administração e comprometimento de todos os colaboradores, passou a integrar a cultura das empresas, tendo alcançado grande sucesso e reconhecimento

internacional através de premiações. O surgimento do *Six Sigma* em 1987, na Motorola, teve como objetivo tornar a empresa capaz de disputar com seus concorrentes, que manufaturam produtos com preços menores e qualidades superiores. A Motorola recebeu o Prêmio Nacional da Qualidade *Malcolm Baldrige* em 1988, comprovando que a metodologia *Six Sigma* foi responsável pelo sucesso da organização (NOGUEIRA, 2015).

Com o sucesso na implementação da metodologia do *Six Sigma* na Motorola, outras organizações seguiram o mesmo caminho. No Brasil, ainda há sempre um interesse crescente pelo *Six Sigma*. As empresas *Asea Brown Boveri*, *General Electric* (GE), *AlliedSignal* (atualmente, *Honeywell*), *Sony* e *Kodak* utilizaram com sucesso a metodologia *Six Sigma* e divulgaram os ganhos obtidos por ela, gerando um grande interesse em outras organizações por esta metodologia. Alguns anos depois, as empresas brasileiras que dispõem unidades de negócios no exterior, passaram a adotar esta metodologia, a primeira empresa brasileira que utilizou foi o Grupo Brasmotor (Multibrás e Embraco), obtendo mais de 20 milhões de retorno em 1999 (WERKEMA, 2020-a).

A metodologia *Six Sigma* evidência os objetivos estratégicos da empresa, estabelecendo a sobrevivência de todos os setores-chave através das metas de melhorias, com base em métricas quantificáveis, através de um esquema de aplicação projeto por projeto (WERKEMA, 2020-a). Esta lógica é ilustrada na Figura 7.

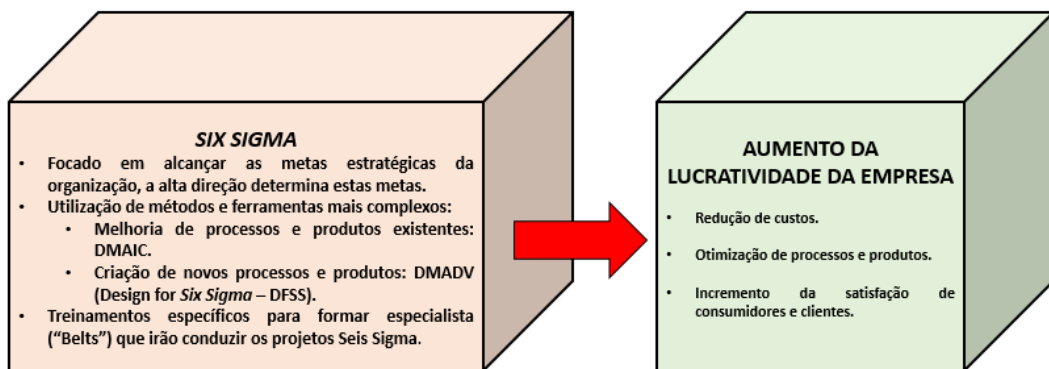



Figura 7 – Lógica da metodologia *Six Sigma*

Fonte: Adaptado de Werkema (2020-a)

Pande *(2001)* elucida que a metodologia *Six Sigma* se define como um sistema flexível e abrangente, com a finalidade de sustentar, maximizar e alcançar o sucesso empresarial, sendo uma metodologia singularmente impulsionada através de uma

compreensão do que os clientes necessitam, utilizando disciplinadamente os dados, fatos e análise estatística, dando atenção especial a melhoria, gestão e reinvenção dos processos. Com esta definição criou-se embasamento para descobrir o potencial da metodologia *Six Sigma* para organização. Os benefícios que se pode alcançar com esta metodologia são:

- Redução de custos;
- Crescimento da fatia de mercado;
- Melhoria de produtividade;
- Retenção de cliente;
- Redução de defeitos;
- Redução de tempo de ciclo;
- Desenvolvimento de serviço/produto;
- Mudança cultural.

Para o sucesso na implementação desta metodologia deve-se:

- Tornar os colaboradores especializados para atender a abordagem *Six Sigma*;
- Obter o comprometimento da alta gestão, dando a visão da importância desta metodologia para toda estrutura organizacional;
- Mudar a cultura organizacional, focando todos os colaboradores na melhoria contínua, para transmitirem a todos os interessados, a nova cultura aplicada nas atividades da empresa;
- Transformar em linguagem financeira todos os benefícios conquistados com a metodologia *Six Sigma*, fazendo com que todos os colaboradores identifiquem os impactos ocorridos nesta implementação (ANTONY; BANUELAS, 2002).

Harry e Schroeder (2000) definem a metodologia *Six Sigma* sendo um processo de negócio com o objetivo de incrementar lucros para as organizações através de: melhoria da qualidade, otimização das operações, eliminação de falhas, defeitos e erros. A meta a ser alcançada nesta metodologia, não é o *Six Sigma* de qualidade e sim a melhoria da lucratividade. A terminologia *Six Sigma* estatisticamente significa que numa distribuição normal centralizada, podem ser detectados 6 desvios-padrões entre a média e o limite inferior de especificação (LIE) e mais 6 desvios-padrões entre a média e o limite superior de especificação (LSE), o qual resulta em 1,2 defeitos por um bilhão de oportunidades (DPBO). Sendo que quando 6 desvios-padrões se encontram entre o limite estabelecido pelo requisito do cliente e a média de uma distribuição, obtêm-se um processo *Six Sigma*. Na Figura 8 é ilustrada a diferença de um processo com qualidade *One Sigma* para outro com qualidade *Six Sigma*. O primeiro quadro apresenta uma perda de 31,74% e no segundo uma perda de 0,0000002%.

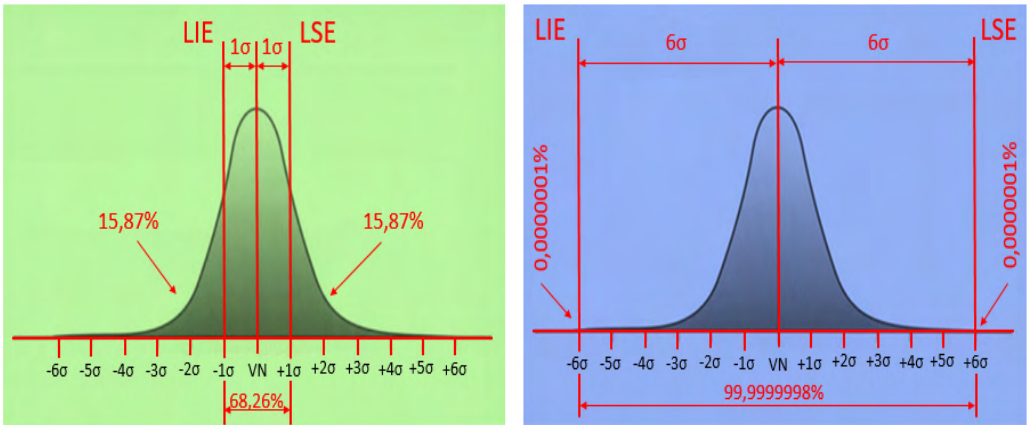



Figura 8 –Diferença entre Processos com Diferentes Qualidades: *One Sigma* / *Six Sigma*

Fonte: Adaptado de Werkema (2004)

Werkema (2004) elucida que para manter um processo *Six Sigma* é muito dispendioso, a aplicabilidade do nível *Sigma* deve ser alcançado de acordo com o processo, quanto maior o nível *Sigma* da qualidade melhor será o processo. Na Figura 9 é ilustrado o processo de decolagem e pouso de avião, onde uma falha pode causar grandes perdas humanas, portanto, é um processo onde se é necessário alcançar o nível *Six Sigma*. Em outro processo de logística das bagagens, se fosse exigido um nível *Six Sigma*, haveria um custo muito elevado, o que encareceria em demasiado os valores das passagens, sem necessidade.

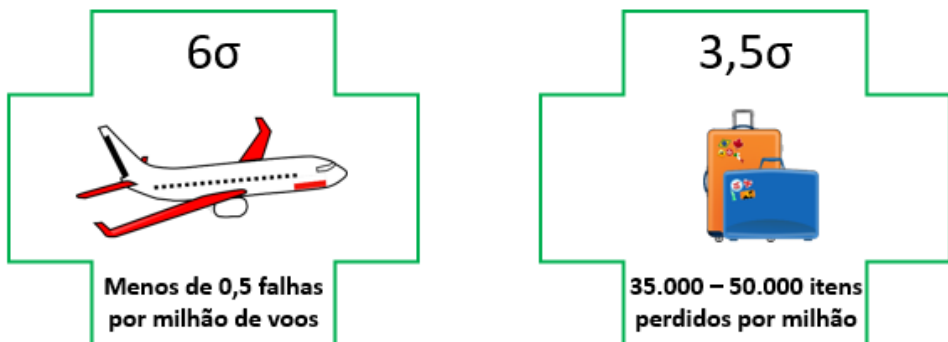



Figura 9 – Comparação entre dois processos

Fonte: Adaptado de Werkema (2004)

Cada nível *Sigma* determina o número de defeitos por milhão (ppm), sendo que quão grande seja o nível *Sigma* (número de desvios) será diminuído a possibilidade de defeitos num produto ou serviço. O objetivo desta metodologia é conseguir uma taxa de erro zero, mas a partir do nível *Sigma* 4, considera-se um processo produtivo muito bom. De acordo com Rotondaro, *et al*. (2002), a longo prazo, dificilmente mantêm-se um processo centralizado, conforme o pressuposto da distribuição normal, então, foi convencionado um deslocamento partindo da média nominal de 1,5 desvios-padrões. Concluindo que um processo é considerado *Six Sigma* quando atinge 4,5 desvios-padrões entre a média do limite inferior e superior de especificações. Na Figura 10 é ilustrada uma relação do nível *Sigma* (σ) de um processo, defeitos por milhão (ppm) e a porcentagem de conformidade. Observa-se que quanto maior o nível *Sigma* os defeitos diminuem.

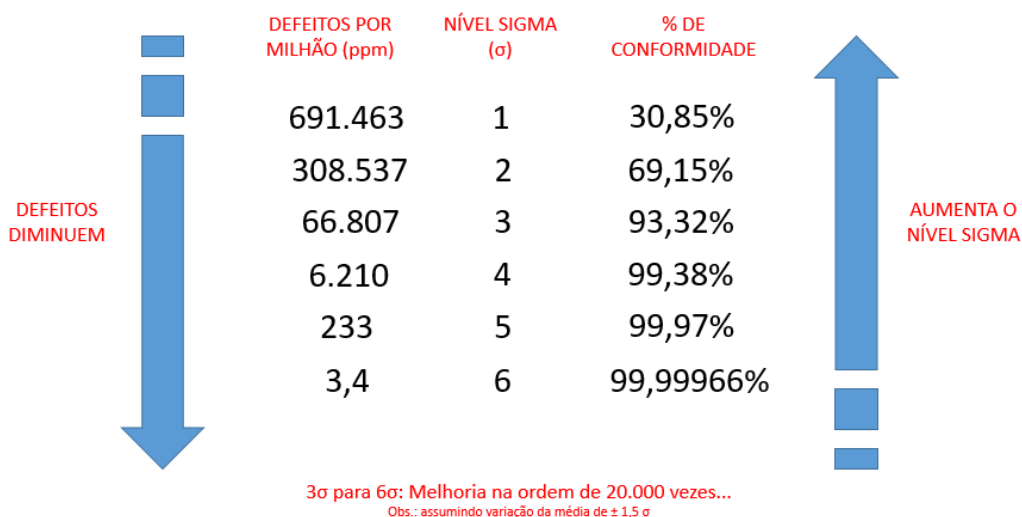



Figura 10 – Nível *Sigma*

Fonte: Adaptado de George (2002)

Cultura *Lean* no Gerenciamento do PDP

A cultura *Lean* é uma filosofia utilizada para gerenciar atividades, visando evitar gastos com tempo, financeiro, mão de obra. Aplicando desta maneira, apenas e puramente, o necessário para a execução de uma determinada etapa, processo ou trabalho. A literatura traduz o termo *Lean* sendo entendido a partir da palavra 'enxuto', tratando-se de uma metodologia que utiliza somente os recursos necessários, evitando desperdícios para a realização de algum trabalho. Silva, *et al.* (2011) elucidam o *Lean* como manufatura enxuta, sendo uma ferramenta focada em eliminar desperdícios e agregar valor ao cliente,

atendendo com efetividade as necessidades do cliente e otimizando os recursos. De acordo com Werkema (2020-a), o *Lean* despontou em meados do ano de 1950 na empresa *Toyota*, tendo a finalidade de reduzir os altos custos consumidos nas atividades que agregavam pouco valor ao produto, estes são identificados a partir do que o cliente está disposto a pagar pelo o que agrega valor para ele.

A característica principal da filosofia *Lean* é alcançar o ápice da capacidade produtiva com a finalidade de adquirir valor para os clientes, utilizando todos os recursos investidos em equipamentos, máquinas, instalações, pessoas e materiais. A filosofia *Lean* acontece através de uma série de procedimentos e conceitos que visam a simplificação da maneira de uma organização eliminar todos os desperdícios, e conjuntamente, estabelecer valor para os seus clientes (WOMACK; JONES, 2010).

Milan, Reis e Costa (2015) salientam que a filosofia *Lean* tem foco na redução das diversas fontes de desperdícios com a finalidade de agregar valor aos clientes. Diante deste ponto de vista, os autores afirmam que na filosofia *Lean* existem cinco fases, sendo elas:

- Valor: Nesta fase a organização deve identificar as reais necessidades dos clientes, deixando o cliente definir o que é valor no seu produto, sendo aquilo que ele não pretende pagar é o desperdício e deverá ser eliminado;
- Corrente de valor: É o segundo princípio *Lean*, sendo a fase de observar o método que concede a entrega do valor aos clientes, identificando as etapas que agregam valor ao produto;
- Fluxo contínuo: É a fase que procura subtrair algum aspecto ou atividade que não adicione valor ao processo, atendendo as necessidades dos clientes já identificadas anteriormente, com menor tempo de processamento dos pedidos, baixo estoque e rapidez. Sendo a fase mais difícil de alcançar a plenitude;
- Produção puxada (*pull*): Sendo que nesta fase passa a produzir somente o necessário para o cliente, o estoque é reduzido ao mínimo. Na produção puxada a necessidade de descontos e promoções são eliminados, porque acabaram com os itens parados por longo período no estoque;
- Perfeição: Reconhece-se a dificuldade de alcançar a perfeição, por este motivo, nesta fase busca-se constantemente a criação de valor, eliminação do desperdício e a busca pela melhoria contínua das pessoas, dos processos, dos produtos.

De acordo com Manjunath e Bargerstock (2011), em nível mundial, as organizações trabalham aceleradamente na implementação da filosofia *Lean*, mas ocorrem algumas divergências quando adaptam os modelos de gestão tradicionais à essa filosofia. Quando as organizações adquirem um padrão de maturidade desta filosofia, elas alcançam os

proveitos intrínsecos nela.

O *Lean Manufacturing*, ou filosofia *Lean* ou simplesmente, *Lean,* pode ser descrito como uma metodologia que visa soluções de problemas com base em análises estatísticas e fluxos dos processos, tendo a finalidade de otimizar os processos e evitar desperdícios onde estão atuando. Womack e Jones (2010) afirmam que esta metodologia é focada em diminuir sete tipos de desperdícios: movimentação; tempo de espera; estoque, superprodução, transporte, defeito e excesso de processamento. Com a eliminação destes desperdícios, o custo de produção e o tempo diminuem, assim como, acontece a melhora da qualidade. As organizações quando iniciam a implementação da filosofia *Lean*, devem mensurar o patamar que querem alcançar, necessitando motivar, treinar e disponibilizar recursos adequados aos operadores, sendo estes requisitos, elementos-chave para o sucesso da concepção da *Lean Manufacturing* (FITZGERALD, 2011).

A metodologia *Lean Thinking*, é empregada pela alta gestão e apresenta a autonomia e autoridade para alterar os processos, já que se trata de implementações de alterações ousadas nos processos de trabalho. Utiliza-se de ideias e experiências dos colaboradores da linha de frente, com a finalidade de transformar os desperdícios, resíduos ou perdas em valor sob a visão do cliente. Womack e Jones (2010) salientam que os operadores não detêm autonomia para realizar alterações em grande escala nos processos, sendo que a abordagem não se trata de um processo para solucionar os problemas, e sim, proceder com uma metodologia de reengenharia e com a finalidade de alterar o nível estratégico, os processos de trabalhos e o comportamento das pessoas.

O *Lean Enterprise*, é desenvolvido no chão de fábrica em toda organização, sendo que é um processo enxuto, iniciando-se no primeiro contato com o cliente, decorrendo na negociação e fechamento do pedido, no faturamento, na fabricação, na entrega do produto e no pagamento do cliente. Estas etapas buscam como resultado final a eficácia e a eficiência da organização, reduzindo custos e eliminando desperdícios. Thomas, *et al.* (2002) afirmam que o *Lean Enterprise* está correlacionado ao *Lean Thinking*, tendo o objetivo de qualificar a organização a produzir e entregar a qualquer momento, qualquer produto da sua linha, tendo um nível de qualidade elevado e um custo baixo.

O *Lean* no PDP, teve origem nas expectativas do cliente com o produto, capturando os reais valores definidos por ele, com o objetivo de criar e formar novos e lucrativos fluxos de valor para a organização. De acordo com Kennedy (2003) e Mascitelli (2006), o *Lean* no PDP é desenvolvido a partir do ajuste de processos (nivelamento, padronização, engenharia simultânea), adoção de tecnologias efetivas e de ferramentas (base de conhecimento, comunicação simples e visual) e alocação de pessoas capacitadas (integração multifuncional, parcerias, competência funcional, integração com fornecedores).

Ferreira (2004) afirma que o sucesso da utilização da filosofia *Lean* é decorrido das várias vantagens que ela disponibiliza:

- Custos: Os dispêndios disponibilizados para materiais, mão de obra e equipamentos, na manufatura enxuta, busca-se reduzir no que é essencialmente necessário;
- Qualidade: A sistemática garante que os defeitos prossigam ao decorrer do processo, porque os trabalhadores foram treinados e adquiriram conhecimento para identificar os defeitos e desenvolver métodos para solucioná-los e evitá-los;
- Flexibilidade: Somente as variações do *mix* de produtos, determinam a flexibilidade deles;
- Velocidade: A redução do tempo, o baixo nível de estoque e a flexibilidade, determinam um ciclo de produção curto e uma agilidade no fluxo. A padronização dos componentes, diferenciando os produtos na manufatura final, garante os produtos com menores prazos;
- Confiabilidade: A flexibilidade dos trabalhadores e a manutenção preventiva aumentam a confiabilidade das entregas. O gerenciamento visual e as regras do *kanban*, garantem agilidade para identificar os problemas que gerariam comprometimento na confiabilidade.

Design for Six Sigma (DFSS)

A *General Electric* (GE), no final da década de 1990, desenvolveu a metodologia DFSS, sendo uma extensão do *Six Sigma* utilizado nos projetos de novos processos e produtos, tendo como característica uma perspectiva metodológica sistemática, por utilizar métodos de engenharia e estatística, permitindo que as empresas realizem o lançamento de produtos com custos mínimos e atendimento dos prazos. Inicialmente as empresas adotam o *Six Sigma* apenas para a produção, mas adquirem um grau de maturidade, ultrapassando a barreira do *Six Sigma*, logo após a implementação do DFSS para projeto de novos processos e produtos (WERKEMA, 2004).

Algumas bibliografias traduzem genericamente para a língua portuguesa a sigla DFSS como (Projetando para o Seis *Sigma*), sendo uma metodologia desenvolvida para serviços e processos produtivos aptos a atingirem os níveis *Sigma* de desempenho, sendo ministrado por times de projetos capacitados dentro das organizações. O DFSS é uma renovação de cultura que ocorre na organização em projeto e desenvolvimento de produto, partindo de determinística, para probabilística. Os colaboradores são treinados para adquirirem conhecimentos em análises estatísticas dos modos de falha em processos e produtos, tendo o objetivo de realizar alterações, para eliminarem características de projeto que tenha probabilidade estatística de falha, incorporada numa faixa pré-definida

de sistemas operacionais e condições (TREICHLER, *et al*. 2002).

De uma forma bem simplificada, que o DFSS foi criado como uma extensão do *Six Sigma*, com o objetivo de ser utilizado em projetos de novos processos e produtos, pois as empresas se encontravam capacitadas para a utilização de metodologias e de ferramentas de maior eficácia e sofisticação no planejamento da qualidade. Desejavam atingir para os novos produtos introdução de novas tecnologias, metas de aumento da confiabilidade ou redução de custos (WERKEMA, 2004).

Mas esta realidade não é sempre verdadeira. Estas metodologias são independentes, pois o DFSS dispõe de muitas características que tornam a metodologia *Six Sigma* mundialmente conhecida. Uma das diferenças entre as duas metodologias é o método DMAIC. Este método é constituído por cinco etapas: *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*. Esta metodologia é utilizada tipicamente em serviços e processos produtivos, sendo que estes requerem melhorias em seu nível *Sigma* de desempenho. Identificam as partes que se encontram com desempenho baixo e necessitam melhorias, desta maneira, quando aplicar o *Six Sigma* nessas partes identificadas, elas obtenham desempenho satisfatório.

O DFSS em termos financeiros, é uma maneira menos onerosa e mais efetiva para atingir níveis *Six Sigma* de qualidade, do que procurar retificar os problemas depois do produto estar no mercado. Vem adquirindo importância, sendo uma disciplina que muitos times de projeto estão praticando na maioria das organizações existentes (TREICHLER, *et al*. 2002). A metodologia *Six Sigma* tem correlação com a melhoria do processo e produto, enquanto que a metodologia DFSS foca no desenvolvimento de novos processos e produtos, as duas metodologias apresentam-se como complementares e dessa maneira independentes. Elas são a melhor maneira de obter ganhos financeiro (WERKEMA, 2004).

A metodologia DFSS pode ser utilizada em processos que o nível de desempenho seja muito baixo em termos de índices *Sigma* e elevados em termos de valores de defeitos, sendo que o processo tenha um comportamento ruim para a organização e ao utilizar um projeto *Six Sigma* aplicando o método DMAIC, não resulte um processo satisfatório que reflita em níveis *Six Sigma* (SILVA; OLIVEIRA; SILVA, 2017). É uma aplicabilidade do *Six Sigma* para desenvolvimento de novos produtos, projetos e serviços, tendo como pontos fundamentais o alto comprometimento da direção da organização e a metodologia fortemente estruturada.

Design for Lean Six Sigma (DFLSS)

A metodologia DFLSS é uma integração do *Six Sigma* ao *Lean Manufacturing*, com a finalidade da organização usufruir dos pontos fortes das duas metodologias, atuando

na eliminação de variáveis dos processos e de desperdício, alcançando a satisfação dos clientes. Werkema (2012) elucida que a metodologia DFLSS deve ser usada quando:

- A organização objetiva desenvolver um novo produto ou processo;
- As necessidades dos clientes não estão sendo atendidas com a utilização do método DMAIC, na melhoria do processo ou produto, sendo necessário o redesenho ou reprojeto do processo ou do produto;
- O processo envolvido atingiu seu nível máximo de *performance* (*Process Entitlement*), devendo desenvolver um novo processo para trocar o atual.

A integração entre as metodologias *Six Sigma* e *Lean Manufacturing* é natural, sendo que a organização deve usufruir das duas metodologias, porque o *Six Sigma* não visa melhorar a velocidade do processo e redução do *lead time* e o *Lean Manufacturing* não dispõe de um método para solução de problemas com ferramentas estatísticas (WERKEMA, 2020-a). Na Figura 11 são ilustrados os pontos fortes do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma*.

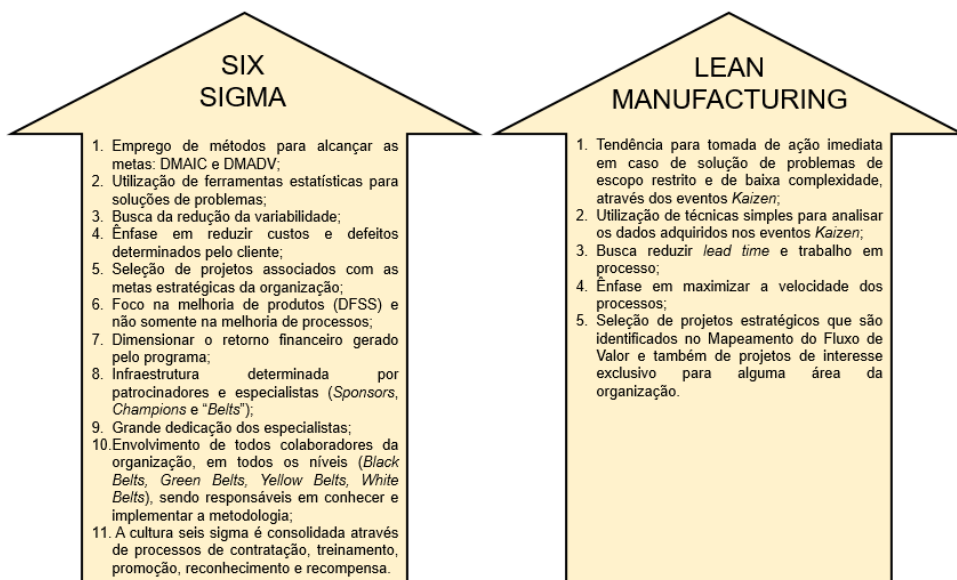



Figura 11 – Pontos fortes do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma*

Fonte: Adaptado de Werkema (2020-a)

Os pontos fortes do *Six Sigma* e do *Lean Manufacturing* asseguram uma metodologia estruturada com atividades definidas e focadas na melhoria contínua de processos. A finalidade do *Lean* é desenvolver um ambiente para melhorar o fluxo e eliminação dos

desperdícios e o *Six Sigma* tem a finalidade de identificar e dimensionar os problemas que estão relacionados a variação dos processos (ANTHONY; KUMAR, 2012).

A metodologia DFLSS é a maneira mais atual de gerenciar negócios, originando-se da combinação do DFSS com as ferramentas e princípios do *Lean*, abordando metodologia sistemática (método DMADV), empregando técnicas estatísticas de engenharia e do *Lean Manufacturing*, utilizadas em PDP e processos. Acrescenta novos conceitos, ferramentas e métodos para eliminarem limitações identificadas anteriormente. Tanto a filosofia *Lean* e a metodologia *Six Sigma*, evoluíram para sistemas de gerenciamento extensos que desenvolveram a metodologia *Lean Six Sigma*. Em ambos os casos a implementação envolve: mudanças de cultura nas organizações, investimento em treinamento dos colaboradores e colaboradores comprometidos com a nova metodologia, partindo da alta administração até o chão de fábrica (MOUSA, 2013).

Existe uma tendência contínua de integração entre a filosofia *Lean* e a metodologia *Six Sigma*. Os pontos fortes das duas filosofias interagem como gestão sinérgica, originando uma proposta de serviços e produtos de alto nível com preços competitivos, eliminando perdas de produção e alcançando um nível de desempenho excelente (TODORUT; RÃBONTU; CÎRNU, 2010).

A utilização da metodologia DFLSS aprofunda o conhecimento da organização para alcançar a qualidade desejada pelo cliente desde o início do desenvolvimento, partindo da concepção do produto, para as expectativas do mercado. Capacitando a organização para utilização de metodologias e ferramentas de maior eficácia e eficiência durante o planejamento da qualidade, os objetivos que desejam alcançar para novos produtos são: reduzir o prazo de lançamento, aumentar a confiabilidade do produto, reduzir os custos, introduzir novas tecnologias, etc. (WERKEMA, 2012).

Então: a metodologia DFLSS utiliza o método DMADV. Este método é constituído por cinco etapas: *Define*, *Measure*, *Analyse*, *Design* e *Verify*. Na Figura 12 são ilustrados os 4 princípios básicos desta metodologia, partindo da tradução livre de *Gerald Hahn, Necip Doganaksoy* e *Roger Hoerl* (WERKEMA, 2012).

Figura 12 – Princípios básicos da metodologia DFLSS

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

- Identificação das especificações do cliente: Nesta etapa é necessária a utilização de ferramentas *Quality Function Deployment* (QFD) e pesquisa de *Marketing*. É onde são definidas as características críticas para qualidade e outras necessidades do cliente para o novo processo ou produto através do nível do cliente;
- Desdobramento ou *flow-down* das especificações: Nesta etapa as necessidades do cliente são desdobradas em especificações para o projeto detalhado, o projeto funcional e as variáveis de controle do processo produtivo;
- Construção ou *flow-up* da capacidade: Nesta etapa é realizado uma verificação da capacidade do processo ou produto para atender as especificações estabelecidas pelos clientes, utilizando dados existentes ou novos dados. Esta verificação identifica com antecedência, possíveis necessidades de alterações e objetivos reconhecidos no desenvolvimento do projeto;
- Modelagem: Nesta etapa, com o alto fluxo de especificações e o baixo fluxo da capacidade, são desenvolvidas as relações das especificações dos clientes com os elementos do projeto. O estabelecimento destas relações é baseado em modelos de princípios físicos, modelos empíricos ou em uma combinação entre eles (WERKEMA, 2012).

RELAÇÃO DAS MONTADORAS COM OS FORNECEDORES NO PDP

A participação dos fornecedores para atender a velocidade do desenvolvimento de produtos, determina um grande diferencial para as empresas, com uma concorrência cada vez mais competitiva, em razão especialmente da alta quantidade de alterações tecnológicas, do alto nível de imposições dos clientes, das aplicações específicas, dos requisitos a serem atendidos e do nível de qualidade maior do produto. A intensa competitividade do mercado e a globalização, associada as exigências dos consumidores, tem feito com que as empresas utilizem a inovação como um diferencial para sua sobrevivência, com isto, necessitam investir muito na qualidade e na velocidade do PDP. As empresas buscam constantemente o aprimoramento dos seus produtos, satisfação e rapidez no atendimento das necessidades dos seus clientes e flexibilidade da produção, antes dos seus concorrentes (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

O fornecedor nomeado para o projeto, na maioria das vezes, tem dificuldades para atender os requisitos do cliente no desenvolvimento do produto e processo, como os prazos cada vez mais exíguos para acompanhar os elevados níveis de qualidade exigidos pelas montadoras. As montadoras prescrevem e incentivam a utilização de algumas ferramentas para gerenciar o desenvolvimento do produto e melhoria contínua. O trabalho em conjunto para o PDP entre as montadoras e os fornecedores, nas indústrias automotivas, determinam uma parceria para o sucesso desta atividade. As relações cliente–fornecedor desenvolvem diferentes abordagens para auxiliarem o PDP. As empresas que conquistam mercados rapidamente e atendem as expectativas dos clientes conseguem grande vantagem competitiva, consequentemente, a metodologia utilizada para o PDP é o requisito para essas empresas sobreviverem (WHEELWRIGHT; CLARK, 1992).

As montadoras detêm um alto padrão tecnológico, investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), infraestrutura produtiva, investimentos em equipamentos e maquinários, *setups* padronizados e propagandas do seu produto. Essas qualificações são necessárias para satisfazer ao público cada vez mais exigente. As empresas de autopeças necessitam investir em P&D para garantir as exigências normativas e qualidade dos produtos, o tempo de desenvolvimento é outro requisito de extrema importância para atender as exigências das montadoras. A performance de uma empresa no PDP pode ser caracterizada em três fatores: qualidade, produtividade e tempo. Isto exige a otimização contínua destes fatores para deixar a empresa mais qualificada para novos projetos com a capacidade de satisfazer seus clientes (CLARK; FUJIMOTO, 1991).

Um PDP estruturado em um gráfico (custo x tempo) define que 80% gastos no desenvolvimento do produto, são consumidos nas primeiras etapas do desenvolvimento.

Isto significa que as decisões relacionadas aos custos do projeto são determinadas no início, exatamente quando ocorre as maiores incertezas. Partindo desse início e das concepções do projeto, da definição dos materiais, da escolha do processo produtivo, das especificações realizadas pela engenharia e das tolerâncias, tem-se curtas margens para reduzir o custo. De acordo com Rozenfeld, *et al.* (2012), necessita-se atenção à qualidade das informações requisitadas na fase inicial do desenvolvimento, pois esta pode determinar o sucesso ou fracasso do projeto. A Figura 13 ilustra os custos no PDP, apresentando as mudanças que ocorreram tardiamente no conceito inicial, a fase pós desenvolvimento, incidindo em altos custos, crescendo exponencialmente com o decorrer do tempo de produção.

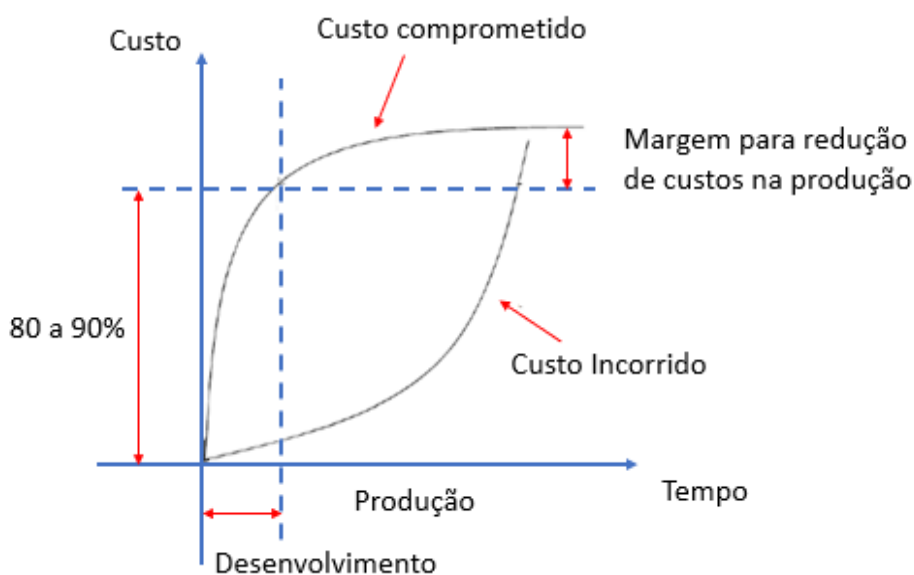



Figura 13 - Gráfico Custo x Tempo no PDP

Fonte: Adaptado de Rozenfeld, *et al.* (2012)

NORMA IATF 16949

A norma IATF é um sistema de gestão da qualidade. Este sistema tem o objetivo de realizar ações para atender as características dos produtos, satisfazer as necessidades do cliente e garantir a qualidade do produto. Corresponde a um conjunto de processos com a finalidade de visar a qualidade dos produtos, utilizando vários recursos, tendo como objetivo principal, atender as expectativas e requisitos dos clientes (SANTOS; VELOSO NETO, 2018).

A primeira norma responsável em descrever os princípios de um sistema de gestão da qualidade, despontou em 1987, denominada ISO série 9000, estabelecendo terminologias, conceitos e padronizações, com a finalidade de facilitar a sistemática para certificar empresas que fornecem para diferentes países, comprovando sua competência de projetar e fornecer produtos conforme solicitado (MAUER; GUERREIRO, 2013).

O foro nacional de normas, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), adotou e traduziu a ISO, designando-a como norma brasileira e nomeando-a como ABNT NBR ISO 9000, sendo publicada identicamente em conteúdo e estrutura. Não existe obrigatoriedade nos requisitos à normalização de sistemas da qualidade, cabendo atender aos acordos entre as partes interessadas (ABNT, 2000). A Figura 14 ilustra a linha do tempo com as transições até a norma IATF 16949:2016.

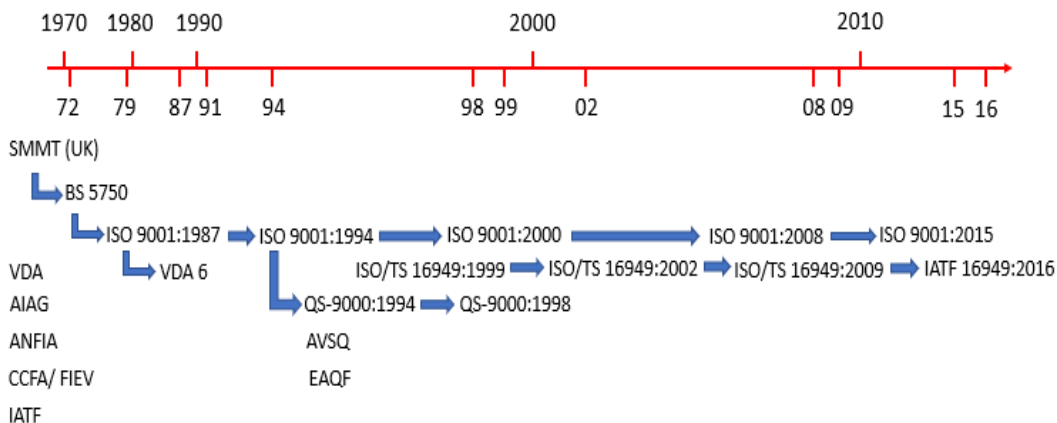



Figura 14 – Transição das normas até a IATF 16949:2016

Fonte: Adaptado de Hoyle (2000)

A norma ISO/TS 16949:2009 foi substituída pela norma IATF 16949, seu lançamento foi em 1º de outubro de 2016. Ela foi criada inicialmente por representantes das principais montadoras (Fiat, Volkswagen, GM, Ford, Mercedes, etc.), visando que os fornecedores atendessem o mínimo necessário para garantir a qualidade no fornecimento, prevenissem defeitos, evitassem desperdícios e garantissem a segurança do produto. A certificação é obrigatória para que fornecedores entreguem seus produtos para as montadoras. Segundo Strafacci Neto (2017), a norma IATF 16949 foi desenvolvida pelo grupo IATF, tendo o propósito de definir os requisitos de sistemas de gestão da qualidade, que são utilizados pelos fabricantes e fornecedores automotivos.

De acordo com DQS (2016), o objetivo da norma IATF é o desenvolvimento de sistema de gestão da qualidade, para atingir as orientações da qualidade automotiva declarados na Figura 15.

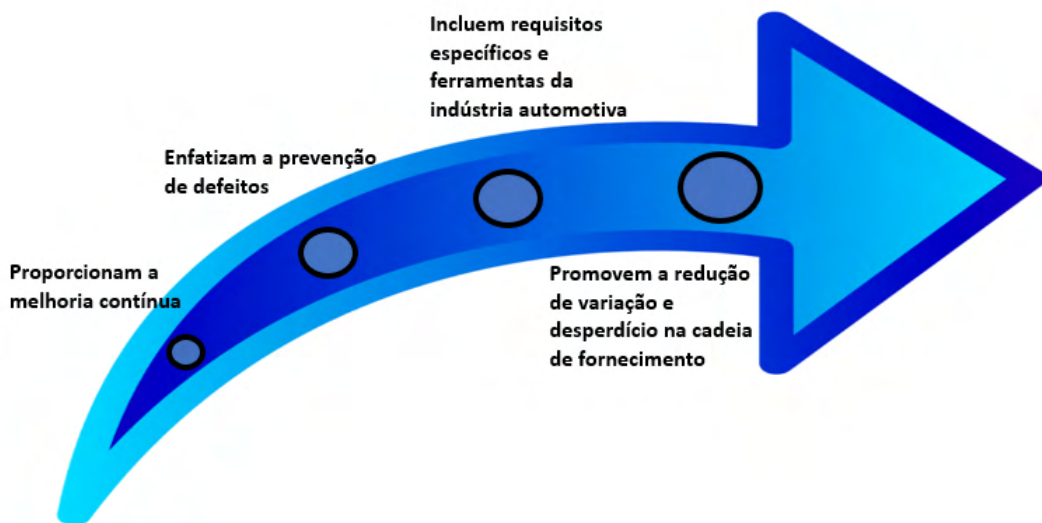



Figura 15 – Objetivos da norma IATF na qualidade automotiva

Fonte: Adaptado de DQS (2016)

A norma ISO/TS 16949:2009 quando foi substituída pela norma IATF 16949:2016, foi totalmente revisada e teve quase todos os seus requisitos mantidos. Foram adicionados 20 requisitos novos e estendeu-se 13 requisitos da norma anterior. Todos foram ordenados em 10 capítulos, conforme a nova estrutura da norma ISO 9001:2015. Segundo Santos e Veloso Neto (2018), entre as mudanças principais, foi dado ênfase ao risco da nova ISO 9001:2015, tendo como objetivo prevenir as falhas antes delas ocorrerem, com abordagem direcionada ao desempenho operacional e atendimento ao que os clientes necessitam.

De acordo com IATF (2021), a norma tem como finalidade específica:

- Estabelecer um acordo em relação aos requisitos fundamentais atuantes no sistema de qualidade internacional, em especial aos fornecedores diretos das empresas que participam do fornecimento de materiais de produção, peças de serviço ou produtos e serviços de acabamento como: pintura, tratamento térmico e revestimento;
- Fornecer instrução apropriada para dar suporte aos requisitos da IATF 16949 e ao esquema de registro desta norma;

- Estabelecer relações formais com organizações para apoiarem os objetivos da IATF;
- Desenvolver procedimentos e políticas para o esquema comum dos registros de terceiros da IATF, para proporcionar a coerência em todo o mundo.

CINTO DE SEGURANÇA AUTOMOTIVO

Evolução do cinto de segurança

Os primeiros cintos de segurança surgiram nos Estados Unidos e foram patenteados em 1895. Mas o primeiro carro com este dispositivo de segurança surgiu em 1959, o Corvette, fabricado pela Chevrolet, equipado com cintos de segurança do tipo abdominal. O cinto de segurança de 3 pontos retêm os ocupantes de maneira muito eficiente, ele é acinturado na região subabdominal e na região do tórax, garantindo a retenção dos ocupantes em casos de acidentes. Este dispositivo foi patenteado em 1958 pelo Sueco *Nils L. Bohlin* e em 1959 a Volvo disponibilizou-o para ocupantes dianteiros, como item de série. É uma invenção importante que até hoje é considerada uma das inovações mais importantes no segmento de segurança veicular (BERTOCCHI, 2005).

A obrigatoriedade do uso deste dispositivo aconteceu em 1961, no estado de *Wisconsin* (EUA). No Brasil, a obrigatoriedade foi sancionada somente em 1994, nos passageiros que viajam nos bancos dianteiros e em 1998 a obrigatoriedade se estendeu para os motoristas e passageiros. Inicialmente o uso obrigatório do cinto de segurança causou polêmica, mas com a conscientização dos motoristas e as multas impostas por não utilização, atualmente está incorporado nos usuários de automóveis, tornando um hábito a sua utilização (BERTOCCHI, 2005).

Os cintos de segurança evoluíram com o tempo. A Figura 16 ilustra a evolução, iniciando na primeira utilização do cinto de segurança.

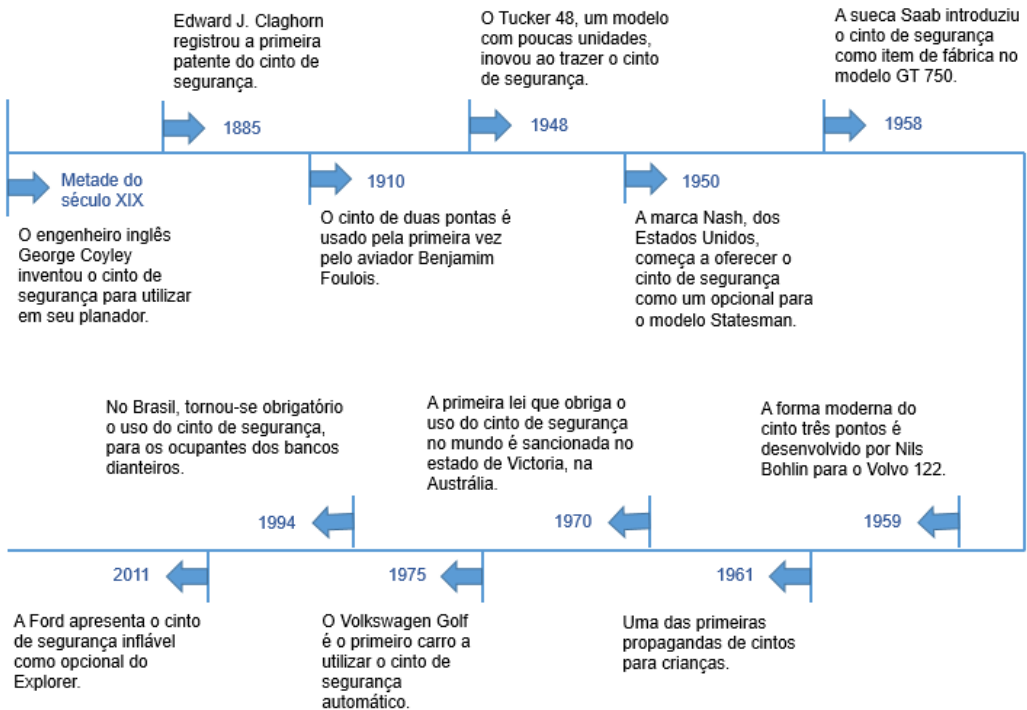



Figura 16 - Evolução do cinto de segurança

Fonte: Adaptado de Novovarejo (2021)

Componentes do cinto de segurança de 3 Pontos

O cinto de segurança é um dispositivo empregado para proteger os motoristas e os passageiros de um veículo, durante uma colisão, uma freada brusca, abrupta ou desaceleração rápida. Por ser um dispositivo de segurança, sua função envolve a redução da probabilidade de mortes, ferimentos graves e que os ocupantes sejam projetados para fora do veículo em algum dos casos citados.

O Código de Trânsito Brasileiro obriga a utilização do cinto de segurança para todos os ocupantes dos veículos automotores, inclusive os passageiros dos bancos traseiros, em todas as vias do território nacional. É o que descreve o Código de Trânsito Brasileiro, art. 65 da Lei 9.503 de 23 de setembro de 1997: Art. 65. É obrigatório o uso do cinto de segurança para condutor e passageiros em todas as vias do território nacional, salvo em situações regulamentadas pelo CONTRAN (JUSBRASIL, 1997).

O conjunto do cinto de segurança de 3 pontos é formado por vários componentes, sendo os principais:

- Conjunto retrator, responsável em executar o bloqueio e o travamento do cinto quando necessário e nele o cadarço é alojado através de um recolhimento automático;
- Cadarço do cinto, é uma tira flexível que normalmente é manufaturado em material tecido e durante uma colisão ou frenagem brusca, exerce a função de reter o usuário;
- Alterador de direção, componente responsável em propiciar uma direção de deslizamento ao cadarço em caso de colisões ou em uso normal;
- Lingueta, quando o cinto está acinturado no usuário, ela é responsável em realizar a conexão do retrator ao fecho;
- Terminal de ancoragem inferior, componente que fixa o cadarço do cinto de segurança à estrutura do veículo;
- Fecho, este componente é fixado na estrutura do veículo;
- Lingueta engata nele para o travamento do cinto (BERTOCCHI, 2005).

Nos cintos dianteiros, também costuma-se utilizar um regulador de altura, com a função de posicionar o cadarço na altura do ombro do usuário e proporcionar conforto quando em uso. A Figura 17 ilustra a fixação do conjunto retrator e dos componentes do cinto de segurança na coluna B de um veículo. A coluna B é uma parte do veículo, onde na maioria das vezes, é fixada a trava da porta. Esta coluna se encontra na lateral do motorista ou passageiro.

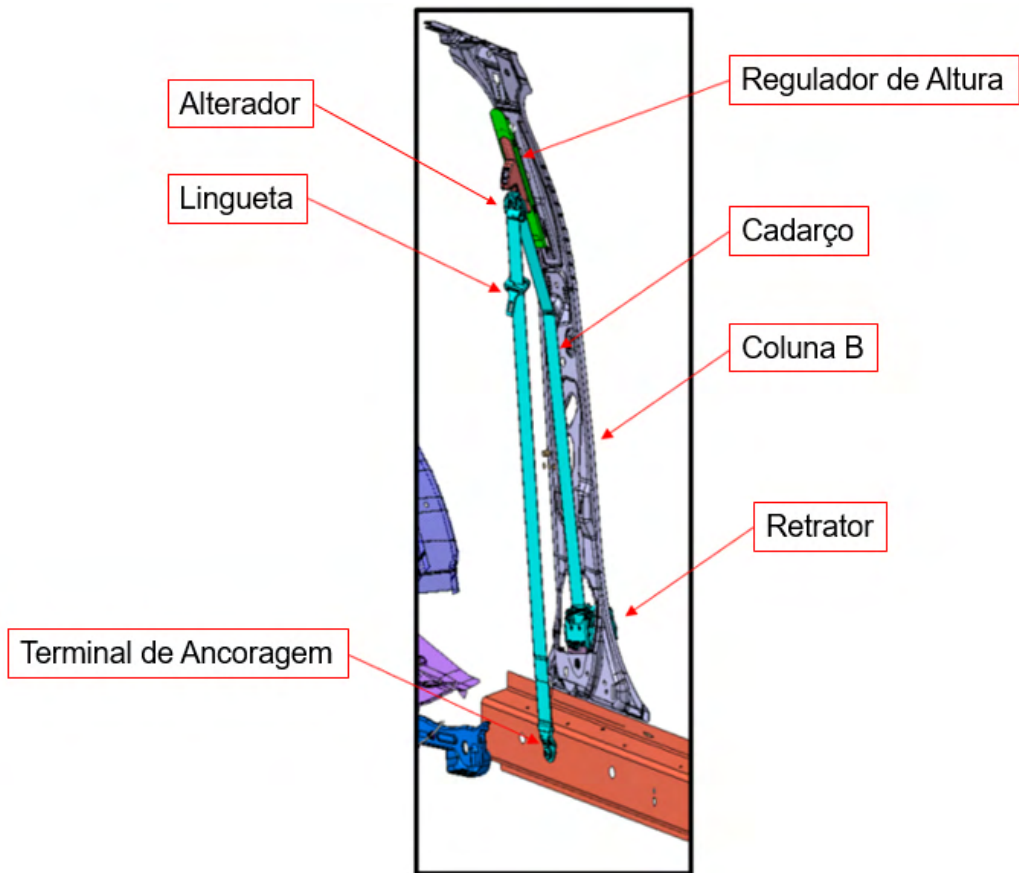



Figura 17 - Cinto de segurança

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Dispositivo de bloqueio

O cinto de segurança geralmente possui no mínimo dois sistemas de travamento de bloqueio, também conhecidos como travamento de emergência, estes sistemas funcionam no conjunto retrator e são eles:

- O travamento por sensibilidade singular, atuante quando ocorre uma inclinação excessiva do veículo, acima de 12 graus o sistema fica travado e se torna impossível retrair o cadarço, travamento pelo mecanismo de bloqueio angular (subconjunto do mecanismo). A fixação do subconjunto do mecanismo fica no interior do conjunto retrator do cinto de segurança;
- O travamento por sensibilidade múltipla, atuante pela desaceleração do veículo, movimento do cadarço ou qualquer outro meio automático (travamento pela massa de inércia).

Para cada configuração do veículo é determinado um ângulo de inclinação de montagem do conjunto retrator. O subconjunto do mecanismo é utilizado para executar o travamento do sistema, este conjunto é composto por um suporte do mecanismo (1) (material polimérico), uma esfera (2) (aço) e uma alavanca do mecanismo (3) (material polimérico). O suporte do mecanismo (1) tem um berço inclinado que suporta a esfera em repouso e ela fica inerte, mas se ocorrer uma inclinação ou desaceleração do veículo, ela se desloca lateralmente elevando a Alavanca (3). Nas laterais do suporte do mecanismo (1), contêm uma trava de montagem (1-A) e uma guia localizadora (1-B), elas servem para fixar o subconjunto do mecanismo na placa do mecanismo, garantindo a fixação e o posicionamento do sistema conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Conjunto do mecanismo de bloqueio angular

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

O travamento do cinto de segurança pelo mecanismo de bloqueio angular ocorre quando o veículo sofre uma inclinação. Quando isto acontece, faz com que a esfera saia da inércia e movimente-se lateralmente. Ao se deslocar, ela rotaciona a alavanca do mecanismo para cima, acionando o balancim também para cima e realizando o engate na roda dentada, fazendo com que o carretel de alumínio rotacione e trave nos dentes da carcaça, retendo o ocupante do veículo. Na Figura 19 é ilustrada o sistema de bloqueio do cinto de segurança, a capa do mecanismo foi removida para melhorar a visualização.

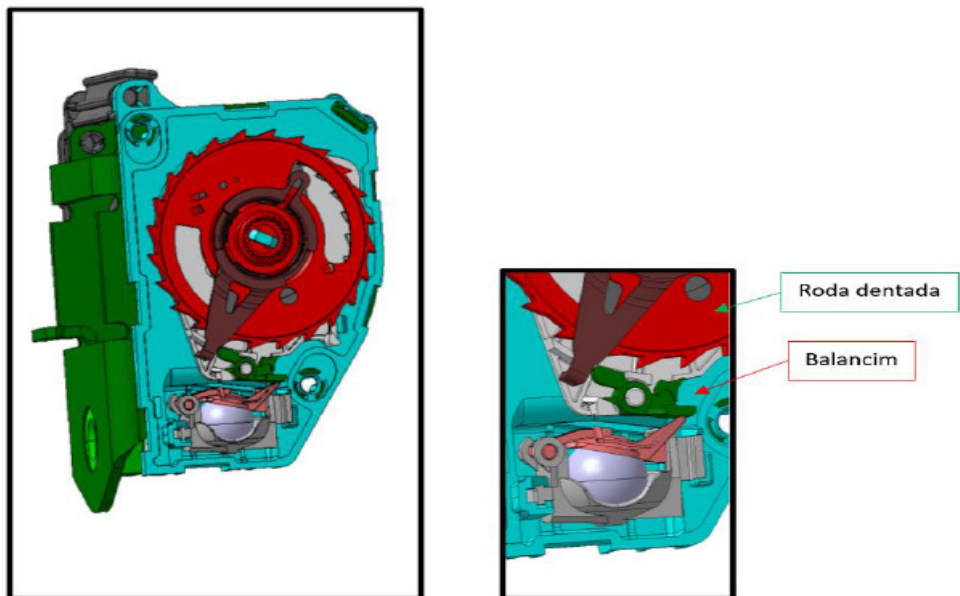



Figura 19 - Sistema de bloqueio angular

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A norma brasileira que realiza a validação do cinto de segurança é a NBR 7337. Nela é descrito que o cinto de segurança deve bloquear o sistema quando ocorre uma inclinação não inferior a 12º e não superior a 27º. A validação deste sistema é realizado em ensaios laboratoriais, representando um carro inclinando nas 4 posições possíveis (0º, 90º, 180º e 270º), as peças são testadas 3 vezes em cada posição, pra atender ao requisito da norma e obter uma precisão nos resultados obtidos.

DETALHAMENTO DAS METODOLOGIAS

FERRAMENTA APQP

A ferramenta APQP é utilizada nas empresas automotivas e é uma importante ferramenta para incrementar e projetar produtos de sucesso. As 5 fases são bem definidas e são gerenciadas pelo *Project Manager* (Gestor de Projeto). Ele é responsável em gerenciar as atividades e certificar-se que as normas e requisitos estão sendo atendidos. Rozenfeld, *et al.* (2012) elucidam que a estratégia e o gerenciamento que a empresa utiliza para desenvolver seus produtos terá influência direta na performance do produto no mercado, sendo o diferencial das empresas para desenvolver produtos, o padrão de consistência e coerência em todo PDP.

Cada fase da ferramenta APQP é um ciclo contínuo planejado, desde o início até o término, assim como num ciclo de planejamento da qualidade do produto (PDCA). O método APQP é uma ferramenta que busca identificar os problemas e implementar soluções e baseando-se nos passos: planejar, executar, verificar e atuar corretivamente. O ciclo PDCA é um método gerencial que assessora na busca da estabilidade e da melhoria do processo. Para sua estabilização é necessário o acompanhamento efetivo do processo e/ou projeto no qual o ciclo PDCA está sendo aplicado, necessitando da aplicação de todas as fases (AIAG,2008). A Figura 20 ilustra as fases, de uma forma sequencial, definindo um cronograma para executar as atividades descritas, com ênfase na melhoria contínua.

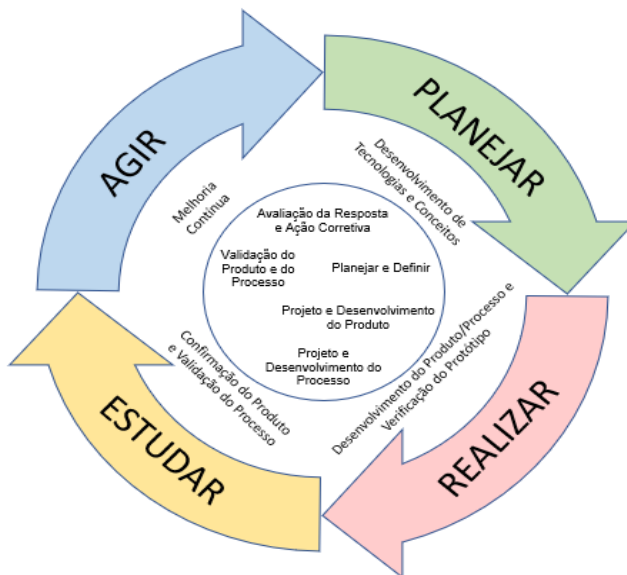



Figura 20 – Ciclo PDCA

Fonte: Adaptado de AIAG (2008)

A ferramenta APQP é utilizada como padrão no mercado automotivo, adotando um método didático, com uma estrutura contendo 5 fases e utilizando 49 etapas (entradas e saídas), sendo que as etapas de saídas servem de entradas para a próxima fase.

Fase 1 – Planejar e Definir o Programa

Na primeira fase do APQP, define-se os requisitos do cliente e as expectativas que ele tem sobre o programa. Para gerenciar estas atividades, utilizam-se ferramentas da qualidade como o QFD ou a metodologia VOC (Voz do Cliente). A compreensão total das necessidades do cliente é o objetivo desta fase, não devendo prosseguir no desenvolvimento do produto sem o total entendimento. Definindo-se também nesta fase, a etapa da estratégia de *marketing,* plano de negócios, estudos de confiabilidade e premissas de produto e processo. A elaboração das versões preliminares da lista de materiais, de metas de confiabilidade e fluxograma do processo, finalizam esta fase. A fase 1 descreve as necessidades e expectativas dos clientes, tendo como objetivo para qualquer projeto de produto, o atendimento das necessidades do cliente, partindo da primeira etapa de garantir estas necessidades e a compreensão clara das expectativas desse cliente (AIAG, 2008).

As atividades de entradas e saídas da primeira fase da ferramenta APQP, podem variar conforme o processo de desenvolvimento do produto, as necessidades do cliente e expectativas dele. De acordo com Rozenfeld, *et al.* (2012), o cliente é sempre o foco principal, dessa forma, necessitam fornecer os melhores serviços e produtos que a concorrência. A Figura 21 descreve algumas expectativas e necessidades do cliente conforme manual AIAG.

- Voz do cliente
  - Pesquisa de mercado;
  - Informações históricas de garantia e qualidade;
  - Experiência da equipe.
- Plano de negócios e estratégias de *marketing*;
- Dados de referência do produto (*Benchmark*) e processo;
- Premissas do produto e do processo;
- Estudos sobre a confiabilidade do Produto;
- Entradas do cliente.

- Objetivos do Projeto;
- Metas de Confiabilidade e de Qualidade;
- Lista Preliminar de Materiais;
- Fluxograma Preliminar do Processo;
- Lista Preliminar de Características Especiais de Produto e Processo;
- Plano de Garantia do Produto;
- Suporte da Gerência.

Figura 21 – Atividades de entradas e saídas da primeira fase do APQP

Fonte: Adaptado de AIAG (2008)

As atividades de entrada da fase 1 referem-se: a voz do cliente através de reclamações e recomendações; as informações e dados colhidos através de pesquisa de mercado dos clientes; a experiência e expertise da equipe; ao plano do negócio com investimento, custo, recursos disponíveis e posição do produto; as informações de qualidade; a estratégia de mercado que compreende os competidores chaves, pontos de vendas e consumidores alvos; as informações da concorrência do processo e do produto; as características do produto, a disponibilidade de inovações técnicas e materiais; e aos estudos para determinar a confiabilidade do produto (ROZENFELD, *et al.* 2012).

As atividades de saída desta fase geram metas para o projeto, para a qualidade e para a confiabilidade, utilizando as expectativas dos consumidores como base, esquematizam um fluxograma preliminar do processo e listam as características preliminares do produto e processo (ROZENFELD, *et al.* 2012).

Fase 2 – Projeto e Desenvolvimento do Produto

A segunda fase do APQP define melhor as características do projeto, verificando-o com as especificações de engenharia e material, iniciando a execução do protótipo. Nesta fase as características especiais e recursos de *Design* deverão estar praticamente em formato final. Uma das saídas esperadas é a análise de modo e efeito de falha no projeto (DFMEA). São realizados os desenhos e as especificações de engenharia e produzida a lista de material. Nesta fase, as características do projeto estão melhor especificadas e definidas, podendo iniciar a construção de protótipos, para verificar se o produto irá alcançar as expectativas dos consumidores. Nesta fase o projeto deverá conter as informações de produção, volumes e prazos, para que atinja os requisitos da engenharia em termos de confiabilidade, qualidade, objetivos de tempo e custo de investimento (ROZENFELD, *et al.* 2012).

Segundo AIAG (2008), esta fase é projetada para garantir uma revisão crítica e abrangente das informações técnicas e dos requisitos de engenharia relacionados. Uma preliminar análise de viabilidade deverá ser feita para a avaliação dos potenciais problemas que possam ocorrer durante a fabricação, na Figura 22 descreve as entradas e saídas desta fase, de acordo com manual AIAG.

- Objetivos do Projeto;
- Metas de Confiabilidade e de Qualidade;
- Lista Preliminar de Materiais;
- Fluxograma Preliminar do Processo;
- Lista Preliminar de Características Especiais de Produto e Processo;
- Plano de Garantia do Produto;
- Suporte da Gerência.

FASE 2 – PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

(Saídas)

- Análise de modo e efeito de falha de projeto (DFMEA);
- Projeto para capacidade de fabricação e montagem;
- Verificação do projeto;
- Análises críticas de projeto;
- Construir protótipo – Plano de controle;
- Desenhos de engenharia;
- Especificações de engenharia;
- Especificações de materiais;
- Alterações de desenhos e especificações;
- Requisitos para novos ferramentais, equipamentos e instalações;
- Características especiais do processo e produto;
- Requisitos para equipamentos de teste e meios de medição;
- Comprometimento de viabilidade da equipe e suporte da gerência.

Figura 22 – Atividades de entradas e saídas da segunda fase do APQP

Fonte: Adaptado de AIAG (2008)

Todas as atividades de alterações de produto necessitam ser revisadas para que a viabilidade da produção não seja afetada. Nesta fase, caso a empresa seja responsável pelo projeto do produto, a ferramenta DFMEA deverá também ser utilizada. Também é realizada a análise crítica do projeto, são definidas as especificações dos materiais que serão utilizados no produto e são determinados os requisitos e especificações para os novos ferramentais, equipamentos e instalações, caso sejam necessários na fabricação do produto. Nesta fase geralmente participam representantes da área da engenharia de produto e processo, planejamento, qualidade, controle de materiais podendo ainda, ter um colaborador da produção (ROZENFELD, *et al.* 2012).

Fase 3 – Projeto e Desenvolvimento do Processo

A conclusão bem-sucedida das tarefas das fases 1 e 2 influenciará nesta fase do

APQP. O foco agora é desenvolver um processo que garantirá os requisitos, necessidades e expectativas do cliente para o desenvolvimento do produto, estabelecidos anteriormente. Nesta fase são definidos o fluxograma, as instruções do processo e o *layout* da planta. A organização certificará que a produção do produto será realizada corretamente, ou seja, ela arruma a casa. O objetivo desta fase é garantir que as necessidades e os requisitos do cliente sejam alcançados, sendo necessário o desenvolvimento de um sistema efetivo de manufatura, tendo algumas características definidas, elaborando um plano de controle da qualidade do produto, que vem sendo desenvolvido e que seja efetivamente cumprido (ROZENFELD, *et al.* 2012). A Figura 23 descreve as entradas e as saídas da terceira fase, de acordo com manual AIAG.

- Análise de modo e efeito de falha de projeto (DFMEA);
- Projeto para capacidade de fabricação e montagem;
- Verificação do projeto;
- Análises críticas de projeto;
- Construir protótipo – Plano de controle;
- Desenhos de engenharia;
- Especificações de engenharia;
- Especificações de materiais;
- Alterações de desenhos e especificações;
- Requisitos para novos ferramentais, equipamentos e instalações;
- Características especiais do processo e produto;
- Requisitos para equipamentos de teste e meios de medição;
- Comprometimento de viabilidade da equipe e suporte da gerência.

- Padrões e especificações de embalagem;
- Análise crítica do sistema da qualidade do produto/ processo;
- Fluxograma do processo;
- *Layout* das instalações;
- Matriz de características;
- Análise do modo e efeito de falha de processo (PFMEA);
- Plano de controle de pré-lançamento;
- Instruções do processo;
- Plano de análise dos sistemas de medição;
- Plano de estudo preliminar da capabilidade do processo;
- Suporte da gerência.

Figura 23 – Atividades de entradas e saídas da terceira fase do APQP

Fonte: Adaptado de AIAG (2008)

Geralmente os representantes da fase 2 (Projeto e Desenvolvimento de Produto) participam desta fase, trazendo todo o conhecimento discutido anteriormente. Representantes das áreas de manufatura e produção são fundamentais nesta fase, porque o processo será desenvolvido e existirão chances de melhorá-lo e modificá-lo, mediante as sugestões apresentadas por esta equipe. Nesta fase:

- É definido o padrão de embalagem;
- Realiza-se a análise crítica final do processo e produto com o objetivo de prevenir falhas, partindo do fluxograma do processo e do PFMEA;
- Define-se a folha de instruções e outras orientações para o operador do setor de montagem;
- Planeja-se o estudo preliminar para determinar a capabilidade do processo (ROZENFELD, *et al.* 2012).

Fase 4 – Validação do Produto e Processo

A Fase 4 valida o processo e seus mecanismos de controle, definidos anteriormente, avaliando a execução da produção, descrevendo seus requisitos e condições obrigatórias, objetivando determinar as técnicas e métodos para garantir o processo produtivo a longo prazo. Nesta fase são realizados testes e os resultados servirão para definir a necessidade de novos requisitos, sendo fundamental efetuar os ajustes necessários antes de prosseguir para a próxima fase. Nesta fase realiza-se a corrida piloto para a validação do processo de manufatura. Na corrida piloto é providenciada a verificação e aprovação do fluxograma de processo e do plano de controle pelo time de trabalho. O time de trabalho acompanha e verifica se a documentação está sendo seguida, garantindo que os produtos atendam aos requisitos dos consumidores (ROZENFELD, *et al.* 2012). A Figura 24 descreve as atividades da Quarta Fase, de acordo com manual AIAG.

- Padrões e especificações de embalagem;
- Análise crítica do sistema da qualidade do produto/ processo;
- Fluxograma do processo;
- *Layout* das instalações;
- Matriz de características;
- Análise do modo e efeito de falha de processo (PFMEA);
- Plano de controle de pré-lançamento;
- Instruções do processo;
- Plano de análise dos sistemas de medição;
- Plano de estudo preliminar da capabilidade do processo;
- Suporte da gerência.

- Execução de produção significativa;
- Avaliação de sistemas de medição;
- Estudos preliminares da capacidade do processo;
- Aprovação de peça de produção;
- Testes de validação da produção;
- Avaliação de embalagens;
- Plano de controle da produção;
- Assinatura do planejamento de qualidade e suporte da gerência.

Figura 24 – Atividades de entradas e saídas da quarta fase do APQP

Fonte: Adaptado de AIAG (2008)

As atividades principais desta fase são: corrida piloto de produção; avaliação de embalagem; estudo preliminar e definição da capabilidade do processo; avaliação do sistema de medição com foco nas características críticas de controle do produto e plano de controle da produção, seguindo as características críticas determinadas para controle. Os colaboradores que farão parte nesta fase são dos setores: engenharia de processo e produto, qualidade, manutenção, produção e/ou manufatura e segurança do trabalho (ROZENFELD, *et al.* 2012).

Fase 5 – Lançamento, *Feedback*, Avaliação e Ação Corretiva

A validação e instalação do processo ocorrido na fase anterior não determina o final do planejamento da qualidade. Na Fase 5 é iniciada a produção em larga escala. O foco, neste momento, é avaliar e melhorar os processos, determinando redução nas variações, identificando os problemas e iniciando as ações corretivas, com o objetivo focado na

avaliação do *feedback* do cliente e na melhoria contínua. Se as fases anteriores foram seguidas corretamente é possível alcançar a satisfação do cliente. Após a instalação e validação do processo produtivo é avaliada a efetividade do plano de controle de qualidade do produto, através do plano de controle de produção. Esta fase tem como objetivo reduzir a variabilidade do processo, checando se todas as características do produto atendem ao cliente, garantido a melhoria contínua e resolução de problemas. Finalmente o processo seguirá a produção em grande escala e início do fornecimento do produto para os clientes (ROZENFELD, *et al.* 2012). A Figura 25 descreve a última fase do APQP, de acordo com manual AIAG.

- Execução de produção significativa;
- Avaliação de sistemas de medição;
- Estudos preliminares da capacidade do processo;
- Aprovação de peça de produção;
- Testes de validação da produção;
- Avaliação de embalagens;
- Plano de controle da produção;
- Assinatura do planejamento de qualidade e suporte da gerência.

FASE 5 – LANÇAMENTO, *FEEDBACK*, AVALIAÇÃO E AÇÃO CORRETIVA

(Saídas)

- Variação reduzida;
- Satisfação do cliente;
- Entrega e assistência técnica;
- Uso eficaz das melhores práticas/ lições aprendidas

Figura 25 – Atividades de entradas e saídas da quinta fase do APQP

Fonte: Adaptado de AIAG (2008)

Todos os colaboradores que participaram das fases anteriores podem participar desta fase. De uma maneira geral participam as áreas da: qualidade; engenharia de processo e produto; produção e/ou manufatura; planejamento e controle da produção e de materiais; manutenção e representantes do cliente. Nesta fase ocorre a avaliação do cliente nos controles e processos determinados e as ações corretivas necessárias para garantir a satisfação do cliente (ROZENFELD, *et al.* 2012).

A complexidade do projeto, recursos disponíveis na empresa e conhecimento dos

colaboradores, determinaram a quantidade de integrantes para participar de cada fase, sendo definida esta quantidade pelo representante da primeira fase (planejar e definir o programa). A duração de cada fase também é definida de acordo com a complexidade do projeto, por exemplo, o APQP aplicado ao desenvolvimento de um carro pode durar em média 2 anos e o aplicado a um cinto de segurança, equipamento utilizado no automóvel, ter duração média de 1 ano.

METODOLOGIA *DESIGN FOR LEAN SIX SIGMA*

Direcionamento da Metodologia DFLSS

Os métodos DMADV e DMAIC da metodologia DFLSS são determinados por dois caminhos. As organizações devem definir ao iniciar uma gestão de desenvolvimento de produto ou processo. Werkema (2012) elucida, em um fluxograma, qual a melhor condução de um projeto. Na Figura 26 é ilustrado este fluxograma.

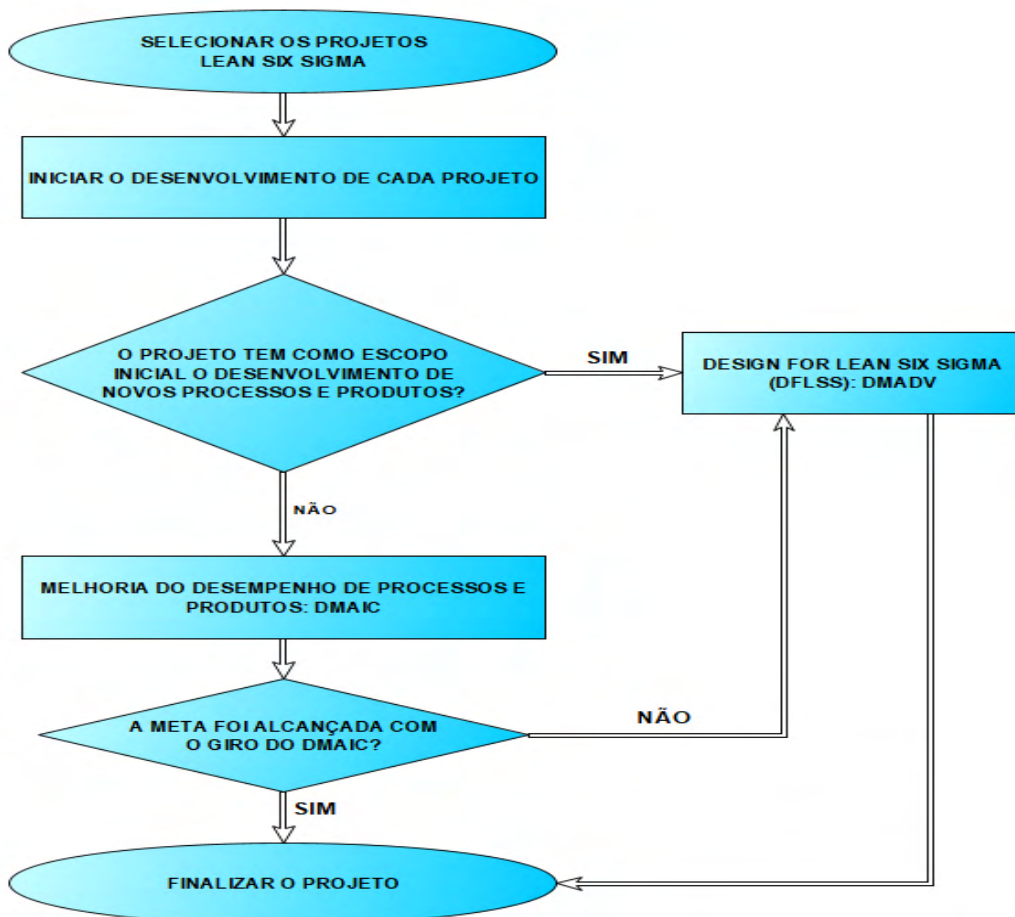



Figura 26 – Qual método utilizar - DMAIC / DMADV

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

O DFLSS garante para a organização o atingimento das propostas estabelecidas, trazendo não somente os ganhos financeiros, mas a conquista da fidelização do cliente, assegurando a continuidade dos processos com eficácia cada vez maior. Esta metodologia é entendida como uma estrutura de trabalho definida, focando na melhoria contínua de processos (ROTONDARO, *et al.* 2002).

A metodologia DFLSS para ser desenvolvida dentro de uma organização é necessário o entendimento de todos na hierarquia que deve ser adotada, os níveis de diretoria e gerenciais deverão apoiar a utilização da nova metodologia para que todos alcancem o sucesso desejado. A hierarquia deve ser dividida entre patrocinadores (*Sponsor*, *Sponsor* facilitador e *Champion*) e especialistas (*Master Black Belt*, *Black Belt*, *Green Belt, Yellow*

Belt e *White Belt*) (WERKEMA, 2020-a).

Estrutura da Equipe *Lean Six Sigma*

Um dos elementos para o sucesso do *Lean Six Sigma* é a definição da equipe para executar projetos. Podemos compreender o *Lean Six Sigma* sendo uma metodologia que tem uma estrutura de trabalho definida, o foco dela é na melhoria contínua de processos. Dentro da indústria, para o desenvolvimento desta metodologia, é necessário que todos entendam a hierarquia adotada, devendo ter o apoio dos níveis gerenciais e diretivo para o sucesso dos projetos (ROTONDARO, *et al.* 2002).

De acordo com Werkema (2012), está hierarquia divide-se em patrocinadores e especialistas. Na Figura 27 é ilustrado um Fluxograma com esta Estrutura.

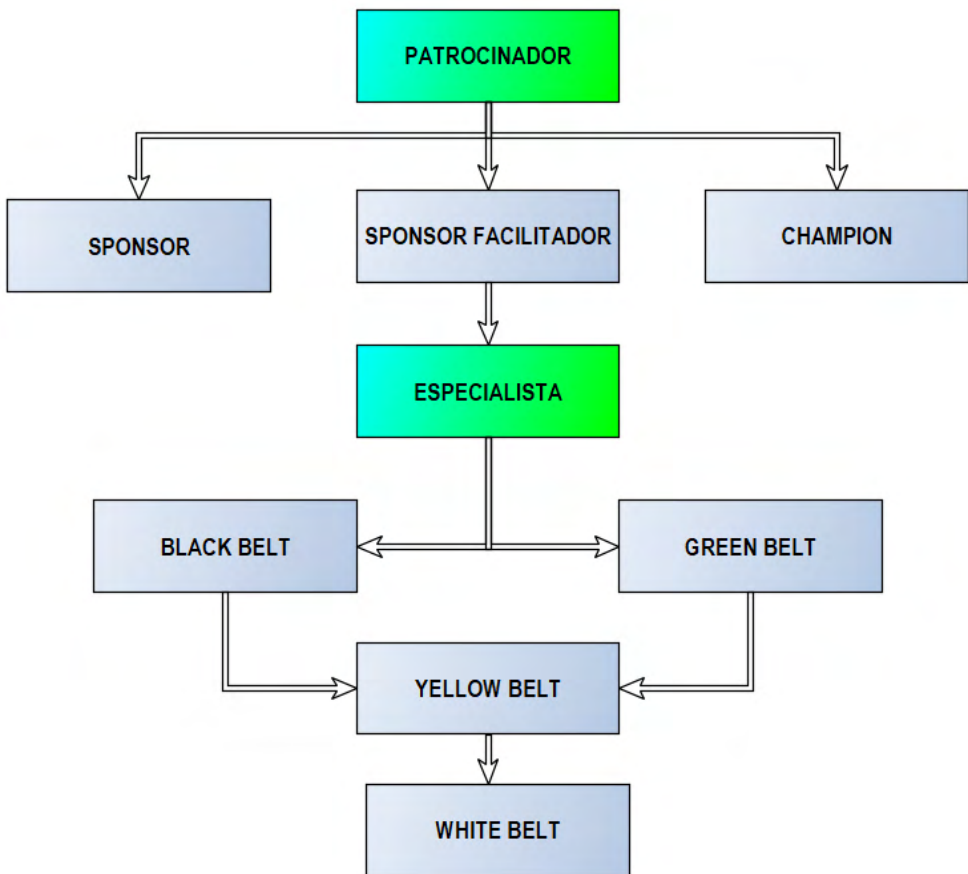



Figura 27 – Hierarquia da equipe *Lean Six Sigma*

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

Na implementação e no desenvolvimento de projetos *Lean Six Sigma*, é primordial a formação de especialistas em todas as áreas e treinamentos técnicos deverão ser realizados por eles. Estes profissionais terão a responsabilidade de promover a mudança nas organizações.

Os *Sponsors*

Os *Sponsors* costumam ser líderes informais, eles aplicam a metodologia *Six Sigma* diariamente em seu trabalho e em todas as oportunidades eles transmitem mensagens desta metodologia. Eles são considerados donos dos sistemas e processos que auxiliam a coordenar e a iniciar as tarefas de melhoria *Six Sigma* nos departamentos que são responsáveis (HARRY; SCHROEDER, 2000).

A metodologia *Six Sigma* deve ser liderada pelo CEO (*Chief Executive Officer*) da organização, sendo ele responsável por sua performance (PYZDEK, 2003). Pande (2001) descreveu na mesma linha de Pyzdek, relacionando o *Sponsor* do projeto como um membro da alta gerência.

O *Sponsor* é o 'número um' da organização, responsável por definir e promover as diretrizes para implementar a metodologia *Six Sigma*. O *Sponsor* Facilitador é responsável em assessorar o *Sponsor* e deve ser um dos diretores da organização (WERKEMA, 2020-a).

Os *Champions*

O comprometimento da organização no processo de implementação da metodologia *Six Sigma*, deve ser realizado por um representante da alta administração, que terá a função de *Champion*. Ele é responsável em difundir a metodologia *Six Sigma* dentro da organização e garantir que existe comprometimento da equipe no desenvolvimento do projeto. Avalia periodicamente o programa (HARRY; SCHROEDER, 2000).

Os *Champions* também são descritos como Patrocinadores. São profissionais de alto nível, entendem a metodologia *Six Sigma* e estão focados em seu sucesso. Os patrocinadores são os proprietários dos sistemas e processos e auxiliam na iniciação e coordenação das atividades de melhorias da metodologia *Six Sigma* (PYZDEK, 2003).

O papel do *Champion* é definido por meio de uma citação simplificada e bem objetiva da sua função, que normalmente ocorre em grandes organizações com várias divisões (ROTONDARO, *et al.* 2002). Para Pande (2001), os *Champions* devem ter uma responsabilidade crítica e muitas vezes é exigido um equilíbrio delicado, porque as equipes necessitam de liberdade para que possam tomar suas próprias decisões. Mas por outro lado, necessitam de um líder para orientar a direção de seus esforços.

Os *Black Belts*

Os *Black Belts* são os líderes de grandes projetos. Eles trabalham em alguma área da organização. Normalmente esta função é exercida por colaboradores com visão global da empresa e muito experientes. Ele trabalha 100% do seu tempo na metodologia *Six Sigma*. Desta maneira a organização dispõe de colaboradores dedicados integralmente e altamente treinados com foco na melhoria contínua dos seus processos (HARRY; SCHROEDER, 2000).

Sobre o comando dos *Master Black Belts* devem trabalhar os *Black Belts*, juntamente com os *Green Belts*, com destaque para atribuição de funções como: dominar técnicas estatísticas e de solução de problemas, e possuir exímio conhecimentos técnicos de sua área de trabalho (ROTONDARO, *et al.* 2002).

Os *Master Black Belts* possuem o nível mais alto de capacidade organizacional e técnica dentro da metodologia *Six Sigma*. Desta maneira, eles detêm todos os conhecimentos dos *Black Belts*, estando aptos a conduzi-*los* na utilização dos métodos corretamente, em situações incomuns (PYZDEK, 2003). Pyzdek (2003) também elucida, que os *Black Belts* são colaboradores tecnicamente orientados, suas habilidades incomuns são levadas em consideração. Eles necessitam estar dinamicamente envolvidos no desenvolvimento organizacional e no processo de mudança, sendo que eles trabalham visando extrair da organização o conhecimento do armazenamento de informações.

As funções, os princípios e as responsabilidades dos *Black Belts* e *Master Black Belts* são basicamente as mesmas. A principal diferença deles é o nível de treinamento e a experiência absorvida. Os *Master Black Belts* muitas vezes são especialistas em ferramentas estatísticas, mas também podem tornar-se consultores internos de gestão de mudança (PANDE, 2001).

Os *Green Belts*

Os *Green Belts* são membros das equipes multifuncionais Não se dedicam integralmente aos projetos e normalmente são colaboradores especializados em suas atividades e possuem um grau de conhecimento menor (HARRY; SCHROEDER, 2000).

Os *Green Belts,* na metodologia *Six Sigma*, lideram e administram os projetos, sendo capazes de facilitar e formar equipes *Six Sigma*, iniciando do conceito até a conclusão (PYZDEK, 2003).

Os cargos *Green Belts*, normalmente são ocupados pela média chefia de uma organização. Os *Green Belts* recebem um treinamento inferior aos *Black Belts*, e sua principal função é auxiliar os *Black Belts* no desenvolvimento de experimentos e coleta de

dados (ROTONDARO, *et al.* 2002).

Os *Yellow Belts*

Os *Yellow Belts* são membros das equipe *Black Belts* e *Green Belts*. O objetivo principal destes membros é contribuir para a disseminação da metodologia *Six Sigma*, auxiliando para o êxito dos projetos (HARRY; SCHROEDER, 2000).

Os *Yellow Belts* detêm um nível de supervisão na organização, sua função principal é supervisionar como está sendo utilizado as ferramentas *Six Sigma* no dia-a-dia da organização, executando projetos focados e com desenvolvimento mais acelerado do que os realizados pelos *Green Belts* (WERKEMA, 2020-a).

Os *White Belts*

Os *White Belts* são os membros restantes da organização, eles adquirem conhecimento básico da metodologia *Six Sigma* com a finalidade de conseguir contribuir com informações e colaborar com o sucesso dos projetos (HARRY; SCHROEDER, 2000).

Os *White Belts* exercem um nível operacional na organização, devendo ser treinados com os fundamentos da metodologia *Six Sigma*, para darem suporte aos *Green Belts* e *Black Belts*. Suas principais atribuições são as execuções das ações operacionais rotineiras da organização, garantindo a manutenção dos resultados a longo prazo (WERKEMA, 2020-a).

MÉTODO DMAIC

Inicialmente a Motorola desenvolveu o método MAIC (*Measure*, *Analyze*, *Improve*, *Control*) sendo a evolução do Ciclo PDCA. Este método foi adotado pela *General Electric* (GE) que determinou a inclusão de uma fase inicial, definida com a letra D, para certificar que conseguiria um projeto bem focado. A partir da utilização na *General Electric (GE)*, o método DMAIC tornou-se a base da metodologia *Six Sigma* nas organizações. O sucesso deste método está relacionado ao comprometimento delas com a metodologia. A lógica básica do Ciclo PDCA deu fundamento para a introdução do DMAIC por *W. Edwards Deming*, com a finalidade de melhoria de processos, baseados em dados (PANDE, 2001). Na Figura 28 é ilustrado o Ciclo DMAIC.

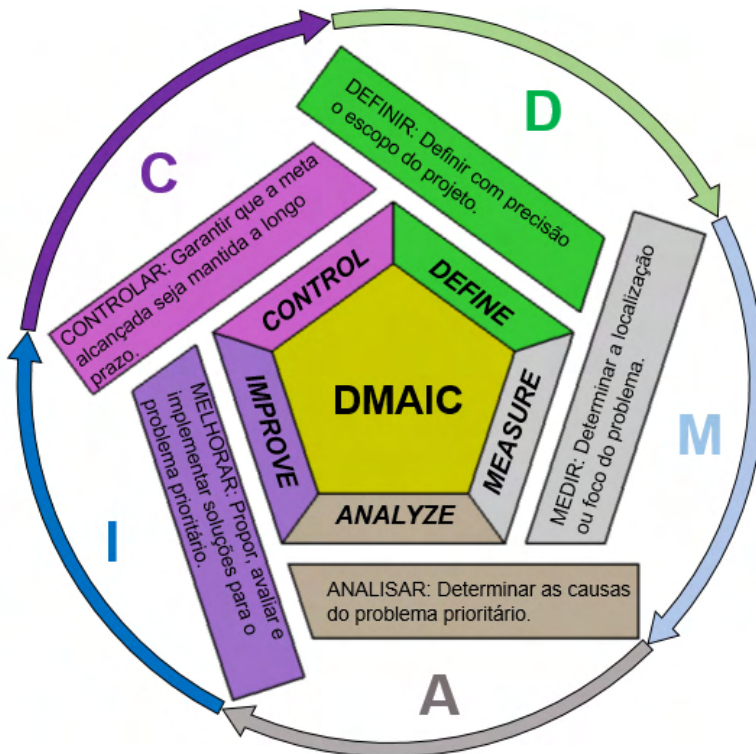



Figura 28 – Ciclo DMAIC

Fonte: Adaptado de Werkema (2020-b)

De acordo com Werkema (2002-b), o DMAIC pode e deve ser complemento do ciclo PDCA, à medida da evolução do sistema de gestão e o nível de capacitação dos colaboradores da organização. Os pontos fortes do metódo DMAIC são:

- Metodologia focada no planejamento (etapas D, M, A e grande parte da etapa I), antes do inicio das atividades;
- Descrição de um roteiro detalhado das atividades do método, gerando análises com precisão, conclusões sólidas e manutenção dos resultados a longo tempo;
- Adaptação das ferramentas ao roteiro do DMAIC;
- Foco nos seguintes elementos:
    - Voz do Cliente (através das CTQs – Características Críticas para a Qualidade);
    - Regularização dos sistemas de medição (confiabilidade dos dados);
    - Regularização do retorno econômico do projeto pela controladoria da organização;

- Envolvimento e participação direta dos gestores em algumas atividades, por exemplo, assinatura do *Project Charter* e entrega do projeto aos donos do processo;
- Realização do *Project Review* ao final de cada etapa do DMAIC (*tollgates*), com a finalidade de avaliar o desenvolvimento do projeto.

A maneira que se resolve um problema sem os procedimentos do DMAIC, utiliza-se julgamentos errôneos ou precipitados. Estes julgamentos não identificam a causa verdadeira, gerando um procedimento equivocado e não efetivo, podendo no futuro aparecer os mesmos problemas novamente. Para cada etapa do DMAIC é realizado um procedimento de aprovação, chamado G*ate Review*. A conexão das etapas, determina que a etapa seguinte deve iniciar somente após a finalização da etapa antecedente, concedendo uma compreensão mais eficaz dos processos, determinando um caminho certeiro para obter melhoria dos processos ou resolução dos problemas (ROZENFELD, *et al*. 2012).

Etapa D, *DEFINE*

A primeira etapa do DMAIC é o D (*Define*). Nesta etapa define-se os pontos que serão trabalhados, explorando as possibilidades de melhorias que existem. Outro ponto definido nesta etapa é sobre os membros que participarão da equipe que irá trabalhar em todo o processo. É necessária uma equipe diversificada para que haja contribuições com diversos pontos de vista. Determinar o objetivo que queira alcançar com a aplicação do método é outro ponto desta etapa. Um *brainstorming* rico ajudará a selecionar os problemas de forma objetiva e determinar os que são relevantes e viáveis (WERKEMA, 2020-b). Na Figura 29 é ilustrado o fluxograma com a visão geral da etapa D.

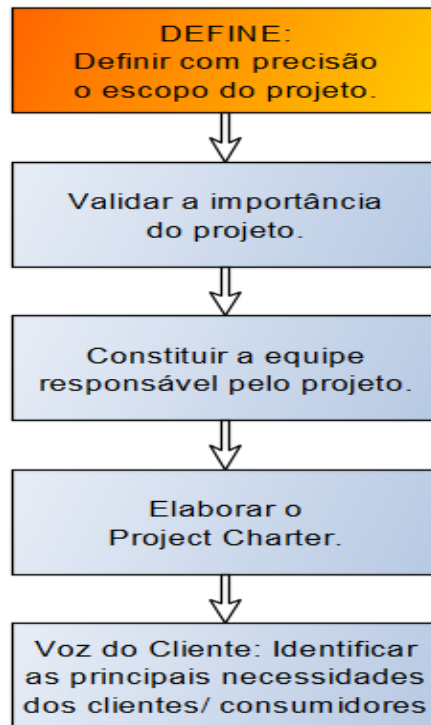



Figura 29 – Etapa D, *Define*

Fonte: Adaptado de Werkema (2020-b)

Werkema (2020-b) ainda elucida que o *Project Charter* deverá ser elaborado nesta etapa, pois ele é um documento que tem o valor de um contrato, que será firmado entre os gestores da empresa (*Champions* e *Sponsors*) e a equipe responsável pela condução do projeto. Os objetivos deste Contrato são:

- Elucidar o que é esperado da equipe do projeto;
- Garantir que a equipe esteja alinhada aos objetivos da organização;
- Formalizar a mudança de gestão do projeto, do *Champion* para a equipe;
- Garantir que a equipe atenda o escopo que foi definido para o projeto.

Nesta etapa também é desenvolvido o mapeamento do problema que foi definido no escopo do projeto, executando a seleção de uma ou algumas características críticas de qualidade, relacionada ao fornecedor escolhido. Ainda nesta etapa é definido o indicador que será monitorado. Após a definição, realiza-se um levantamento do histórico do fornecedor com a finalidade de conhecer a viabilidade do projeto em relação aos objetivos da organização. Nesta etapa são analisados os requisitos do cliente e o que é necessário

para o negócio, com a finalidade de identificar os processos críticos, estes definirão a escolha dos projetos que serão desenvolvidos (CORONADO; ANTONY, 2002).

A etapa *Define* utiliza várias ferramentas e técnicas, sendo as principais utilizadas:

- VOC – *Voice of Customer:* A voz do cliente tem o objetivo de identificar as expectativas e necessidades, iniciando nas definições do projeto (DENOVE; POWER IV, 2006);
- SIPOC – *Supplier, Input, Process, Output, Customer:* Esta técnica é utilizada para assimilar de maneira mais correta as relações compreendidas no processo, iniciando no fornecedor e indo até o atendimento do cliente (GUPTA, 2006);
- QFD – *Quality Function Deployment:* Consiste em dar prioridades aos requisitos dos clientes e seus comentários, transformando estes dados em especificações de um produto, projeto, serviço e/ou processo (ALLEN, 2006).

Deve ser realizada uma descrição do problema, descrevendo desde o início, ou seja, desde que ele existe. O problema deve ser mensurável, atingível e específico, porque isso fornecerá a magnitude do problema, sendo necessário descrever seu impacto sobre os negócios. Ele ainda afirma que os objetivos e as metas factíveis devam ser determinados e acordadas entre o líder e os membros da equipe. Deve-se estabelecer as metas sobre os resultados e nunca sobre os meios de um processo (ECKES, 2001).

Etapa M*, MEASURE*

Nesta etapa do DMAIC dimensiona-se os dados estatísticos dos indicadores de desempenho da organização, sendo que estes dados fazem parte do processo que deverá ser otimizado. É necessário que haja dados quantitativos, para que seja realizado uma comparação mais assertiva lá na frente e garanta a verificação da eficácia das alterações através destes resultados. Fazendo com que a equipe consiga estudar o atual cenário da organização, verificando onde estão os acertos e onde aparecem os erros, estes deverão ser reparados. Nesta etapa é definido o nível *Sigma* (WERKEMA, 2020-b). Na Figura 30 é ilustrado o fluxograma com a visão geral da etapa M.

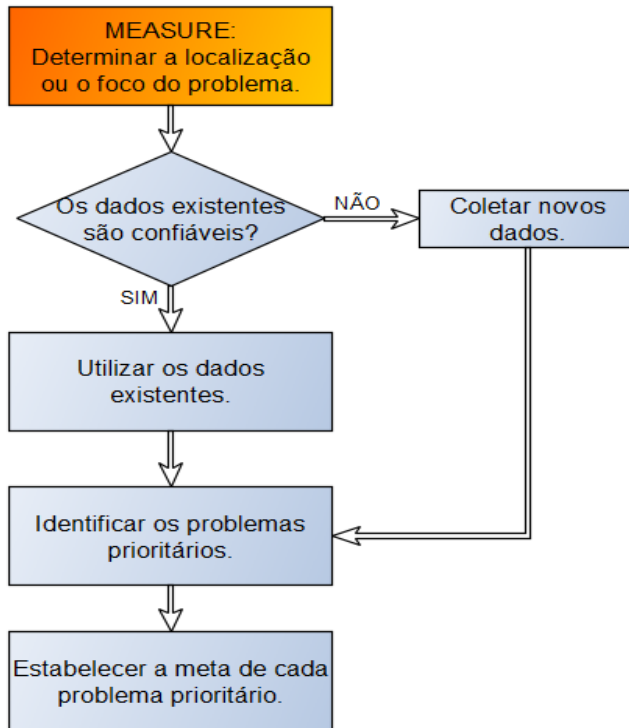



Figura 30 – Etapa M, *Measure*

Fonte: Adaptado de Werkema (2020-b)

Na segunda etapa do DMAIC são aplicadas as ferramentas estatísticas, com elas dimensionam o desempenho dos processos, com a finalidade de visualizar o estado atual dos mesmos e definir as metas de aprimoramento. A etapa *Measure* é fundamental na metodologia DMAIC, com ela garante-se que no futuro será possível avaliar o sucesso dos projetos de aprimoramento (CORONADO; ANTONY, 2002).

Antes de iniciar a coleta de dados, deve realizar a preparação e a validação do sistema de medição, determinando a inspeção a ser utilizada. Nesta atividade são utilizadas ferramentas para avaliação de sistemas de medição e inspeção. Elas permitem quantificar o grau de exatidão dos dados criados pelos sistemas de medição e inspeção da organização (WERKEMA, 2002-b).

Apesar de exigir muito esforço, a maior parte das coisas que acontecem numa organização pode ser medida, pois a capacidade de observar é um dos requisitos para se realizar esta medição. A medição exige atenção, energia e recursos, significando que não é preciso realizar nenhuma medição que não seja necessária (PANDE, 2001). Eckes (2001) elucida que, se um indivíduo não realizou medições e descreveu afirmações a respeito de

um processo, somente é um indivíduo com uma opinião em particular.

A etapa *Measure* utiliza várias ferramentas e técnicas, sendo as principais utilizadas:

- FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*: é utilizada para analisar produtos ou processos, identificando possíveis modos de falha e estabelecendo o efeito de cada uma em relação ao desempenho do processo ou produto (SILVA; SOUZA; CAMPOS, 2018);
- Histograma: É uma distribuição de dados representados visualmente possibilitando interpretar três propriedades do conjunto de dados do processo: a tendência central, a forma e a dispersão (MONTGOMERY, 2016);
- ANOVA – *Analyse of Variance:* Esta técnica é um teste estatístico com o objetivo de verificar a existência de alguma diferença significativa entre as médias e se os fatores tem influência nas variáveis dependentes. Esta técnica permite comparar as médias provenientes de grupos diferentes, também descritas como tratamentos, como exemplo as médias históricas de questões de satisfação em empresas que trabalham simultaneamente em diferentes rendimentos, entre muitas outras aplicações (VIEIRA, 2006).

É importante que exista um processo para medição envolvendo:

- O desenvolvimento das definições operacionais;
- A preparação do plano de coleta e amostragem;
- A seleção do que medir;
- A identificação da fonte de dados;
- A implementação e o refinamento da medição (PANDE, 2001).

Ressalta-se a importância de compreender a diferença entre medidas discretas e contínuas, sendo que pode haver impactos não só em como definir as medidas, mas como os dados serão coletados e o aprendizado que se possa obter com eles (PANDE, 2001).

Etapa A, *ANALYZE*

Na terceira etapa do DMAIC deve-se determinar as causas fundamentais do problema prioritário que está associado a cada meta determinada na etapa anterior, sendo que cada meta deverá ter uma resposta para a pergunta: Por que o problema prioritário existe? (WERKEMA, 2020-b).

Esta etapa é fundamental para determinar as ações que eliminam o problema e implementar as melhorias necessárias. A raiz do problema ou causa principal também é definida nesta etapa. Nas etapas anteriores, a equipe analisa as várias ocorrências, para determinar os motivos que causaram cada uma delas, mas é necessário determinar a causa mãe, a causa que gerou os desvios e impediu o funcionamento, 100% do processo. Ao definir está causa, espera-se conseguir trabalhar nos planos de ação de melhoria. Algumas

vezes a equipe tem uma percepção equivocada da razão do problema, fazendo com que passe pela etapa Analisar, de um forma superficial, determinando soluções precipitadas de melhoria (ECKES, 2001). Na Figura 31 é ilustrado o fluxograma com a visão geral da etapa A.

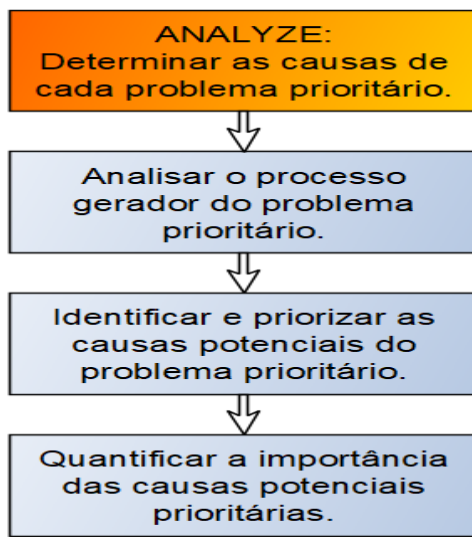



Figura 31 – Etapa A, *Analyze*

Fonte: Adaptado de Werkema (2020-b)

São utilizadas as ferramentas estatísticas que detectam a causa raiz dos problemas apontados. Esta etapa é muito importante, porque orienta a direção das ações para a origem dos problemas, possibilitando que atue nas suas causas e não nas suas consequências (CORONADO; ANTONY, 2002).

Esta etapa é denominada Análise das Causas, onde a análise dos dados coletados anteriormente, na etapa *Measure*, é realizada empregando ferramentas da qualidade e ferramentas estatísticas. Deve-se determinar as causas que influenciam no resultado do processo (ROTONDARO, *et al.* 2002).

A análise das causas é tratada com técnicas e ferramentas, as principais estão descritas abaixo:

- DOE – *Design of Experiment:* é utilizada para delinear os experimentos, com a finalidade de definir quais dados, em que condições e em que quantidade deverão ser coletados ao longo de um determinado experimento, com o objetivo de obter maior precisão estatística nas respostas e menor custo (WERKEMA;

AGUIAR, 1996);

- Diagrama de Causa / Efeito: é conhecida como Diagrama de Espinha de Peixe ou Diagrama de *Ishikawa*, sendo uma representação gráfica, com a finalidade de apresentar a relação entre um conjunto de causas e sub causas que produzem um determinado efeito (problema). Desta maneira o diagrama ilustrará, claramente, as diversas causas que afetam um processo por relação e uma classificação dessas causas (ISHIKAWA, 1993).
- Análise de Regressão e Correlação: É uma técnica para compreender a análise de dados amostrais e para entender como algum conjunto de variáveis está relacionado a outra variável (JOGLEKAR, 2003).

Partindo de um conjunto de ideias determinadas para melhorar os processos, é realizado uma análise para apontar qual delas têm maior impacto nos requisitos do cliente. Geralmente é considerado as melhorias que apresentam menor tempo e custo, sem tomar o cuidado em verificar se elas irão atender os requisitos do cliente. Após a equipe realizar uma lista de causas de variação no processo, os integrantes começam a considerar formas para eliminar essa variação, através de um *brainstorming*, com a finalidade de gerar ideias, classificar em termos de tempo e custo necessário para implementar cada alteração (TAYNTOR, 2003).

A etapa Analisar é a mais imprevisível do DMAIC. Ela garante que exista imprecisão ao determinar a causa raiz. As ferramentas definidas para análise e a maneira de como utilizá-las dependem muito do problema a ser analisado, assim como do processo envolvido.

Ao final desta etapa, deve-se ter identificadas e quantificadas as causas fundamentais do problema prioritário, com a finalidade de constituir uma base para a geração de soluções, que deverão ocorrer na próxima etapa do DMAIC (WERKEMA, 2002-b).

Etapa I, *IMPROVE*

Na quarta etapa do DMAIC, inicialmente é necessário gerar ideias e soluções potenciais, com o objetivo de eliminar as causas fundamentais do problema prioritário determinado na etapa Analisar (WERKEMA 2020-b).

Nesta etapa a equipe inicia o trabalho, com o objetivo de melhorar a causa raiz do problema que foi identificado na etapa anterior. A equipe relaciona a causa e as possibilidades de solução, selecionando as que são mais viáveis para criar planos de ação e realizar testes, que verificarão a eficácia de cada uma. Nem todas as possibilidades de ação identificadas pela equipe necessitam ser testadas. Elas podem ser arquivadas para testes futuros. Com os resultados dos testes são identificadas as melhorias mais efetivas. Estas implementações podem ser monitoradas por um colaborador que faz parte da equipe do DMAIC. Ele irá acompanhar a execução do processo em larga escala. Esta etapa do

DMAIC é quando a equipe deve realizar as melhorias no processo existente, receber os dados estatísticos que foram traduzidos em dados do processo, com o objetivo de modificar tecnicamente os elementos do processo e atuar na causa raiz (ROTONDARO, *et al.* 2002).

A etapa *Improve* é quando a equipe interage diretamente com os colaboradores que executam as atividades. Na Figura 32 é ilustrada a visão geral da etapa I.

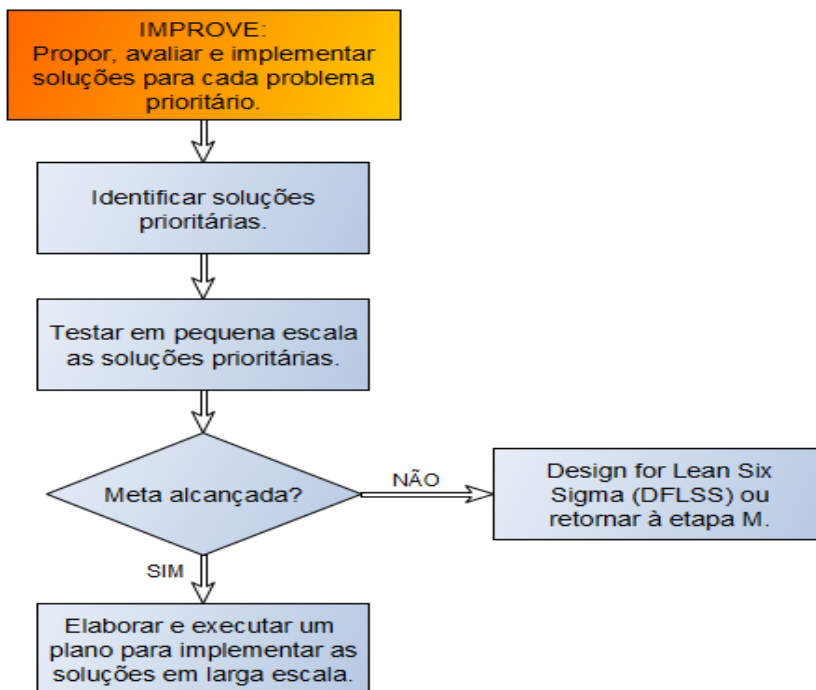



Figura 32 – Etapa I, *Improve*

Fonte: Adaptado de Werkema (2020-b)

Nesta etapa são utilizadas as ferramentas estatísticas com a finalidade de aprimorar os processos, aperfeiçoando-os, desenvolvendo novas soluções e/ou eliminando os erros (CORONADO; ANTONY, 2002).

O resultado de todo o trabalho de medição, definição e análise de problemas de processos, acontecem nesta etapa (PANDE, 2001). Mas eles são precavidos quando afirmam que há falhas em examinar soluções desde o início até o fim, a falta de criatividade, a resistência organizacional e a implementação aleatória e superficial são fatores que podem influenciar no sucesso de um projeto *Six Sigma*.

Durante esta etapa é importante buscar meios de maximizar os benefícios decorrentes

de seus esforços, desde que os riscos sejam aceitáveis, existindo meios através dos quais uma solução limitada seja capaz de remediar outras questões, devendo ser aproveitado esta vantagem. Frequentemente equipes reduzem as soluções quando poderiam alcançar mais, utilizando somente mais criatividade e uma perspectiva mais extensa. Silva, Oliveira e Silva (2017) definem de uma maneira bem simplificada da etapa *Improve*, como sendo uma etapa que contempla a resolução de problemas e a geração de soluções de melhoria, com o objetivo de alcançar os requisitos financeiros e de performance.

Esta etapa, consiste na soma das atividades relacionadas com a seleção, geração e implementação de solução. As soluções geradas e selecionadas pela equipe, serão tratadas com técnicas e ferramentas. As principais estão aqui descritas:

- Matriz de Priorização: É uma ferramenta que auxilia nas tomadas de decisões para estabelecer as prioridades, podendo ou não ser baseada em critérios com pesos definidos (FLORAC; CARLETON, 1999);
- Pareto: É uma técnica que utiliza um gráfico de barras ordenando as frequências das ocorrências, determinadas do maior para a menor, possibilitando a priorização dos problemas. A maior utilidade do Gráfico de Pareto, é permitir uma fácil identificação e visualização dos problemas ou das causas mais importantes, possibilitando que sejam concentrados esforços sobre os mesmos (ALLEN, 2006);
- Análise de custo benefício: É uma técnica utilizada para comparar os custos de implementação das possíveis estratégias, através dos benefícios gerados por ela. Procurando melhorar a razão entre os custos e os benefícios (BREYFOGLE III, 2003).

De acordo com Tayntor (2003), é necessário desenvolver um plano simplificado para realizar a implementação das melhorias propostas, ao invés de realizar somente um plano geral do projeto, ele ainda sugere realizar uma versão simplificada de alto nível, para que seja utilizado nas comunicações com os *stakeholders.* Ele também elucida que o passo mais longo da etapa *Improve* do DMAIC é desenvolver e implementar as mudanças. Ao finalizar estas atividades, passa-se para a próxima etapa do DMAIC, a etapa *Control*.

Etapa C, *CONTROL*

A última etapa do DMAIC garante que a organização mantenha a busca pela melhoria contínua dos processos. O monitoramento dos resultados alcançados e do desempenho é fundamental após tanto trabalho para implementar os planos de ações. Um passo simples é a criação de *checklists* para a realização do controle das atividades que compõem o plano e as cartas de controle, eles ajudam a quantificar esse progresso. Esta etapa do DMAIC avalia o alcance da meta em larga escala, os resultados obtidos com o monitoramento na

ampla implementação das soluções, irão confirmar o alcance do sucesso (WERKEMA, 2020–b).

A etapa *Control* difere de outras determinações de qualidade, que encerram-se nas implementações das soluções. A metodologia *Six Sigma* apresenta-a como uma etapa adicional, sendo uma etapa de controle, com o objetivo de controlar os processos aperfeiçoados, gerando um ciclo de melhoria contínua, sendo a ação para garantir que as melhorias se conservam ao longo do tempo (TAYNTOR, 2003). Na Figura 33 é ilustrado através de um fluxograma a visão geral da etapa C.

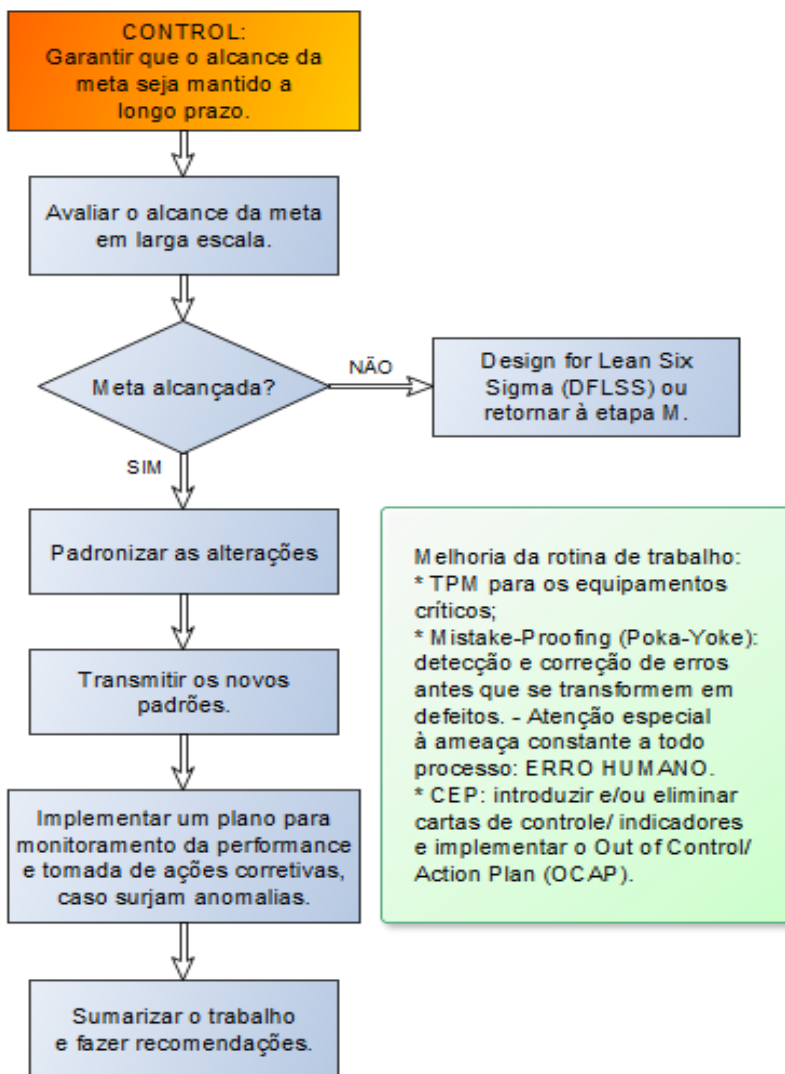



Figura 33 – Etapa C, *Control*

Fonte: Adaptado de Werkema (2020-b)

A detecção mais rápida possível, de uma mudança no comportamento do processo, pode determinar o início das ações corretivas adequadas, corrigindo o processo a tempo de evitar surpresas (ROTONDARO, *et al.* 2002).

Pande (2001) defende a exploração dos desafios de longo e curto prazos para suportar a melhoria *Six Sigma* e unificar todos os métodos e conceitos das etapas anteriores para uma metodologia de gestão realizado por meio de várias funções continuadas. Para ele, o desempenho do *Six Sigma* é dado por três ações fundamentais a serem colocadas em execução nos processos de gestão:

- Implementar medidas em andamento e ações para manter a melhoria: documentando os novos métodos e mudanças, construindo um suporte sólido para a solução, criando planos de resposta de processo e estabelecendo medidas e gráficos significativos;
- Definir responsabilidades para a propriedade e gerenciamento do processo: designando os proprietários do processo e estabelecendo novas estruturas hierárquicas, sendo no nível funcional ou departamental;
- Executar monitoramento de *loop* fechado e impulso em direção ao desempenho *Six Sigma*: oferecendo a gestão de processo, o que trará valor para a organização se tornar verdadeiramente *Six Sigma*.

O controle deve ocorrer nos níveis estratégicos e táticos, sendo aplicados um conjunto de técnicas e ferramentas no processo melhorado, garantindo um desempenho *Six Sigma*, as principais técnicas e ferramentas são:

- Cartas de controle: Esta técnica é conhecida como gráfico de controle, tem o objetivo de apresentar se o processo está sob controle estatístico, sendo útil para a avaliação da estabilidade de um processo e para o monitoramento da variabilidade (MONTGOMERY, 2016);
- Plano de Institucionalização: É um planejamento realizado para apresentar como as melhorias deverão ser implementadas pela organização (CHRISSIS; KONRAD; SHRUM, 2011);
- Avaliação do Sistema de Medição: Verifica a adequação do sistema de medição da organização (FLORAC; CARLETON, 1999).

Se na etapa *Control* ocorrer um período de acomodação, deverá ser dimensionada, novamente, a capabilidade dos processos, com a finalidade de assegurar que os ganhos determinados estão sendo mantidos. Dependendo dos resultados obtidos, existirá a necessidade de reaplicar alguma das etapas anteriores do DMAIC. Com a finalização das quatro etapas: *Measure*, *Analyze*, *Improve* e *Control*, para todos os processos principais dentro de um negócio, ocorrerá uma melhoria de ruptura em termos de economia e satisfação do cliente (HARRY; SCHROEDER, 2000).

MÉTODO DMADV

O método DMADV é uma nova escrita do DMAIC, com ênfase no desenvolvimento de produto, sendo um roteiro do *Lean Six Sigma,* que é utilizado quando um cliente necessita de ajuste, melhoria ou criação de um novo serviço, ou um produto totalmente novo (WERKEMA, 2012). O DMADV é frequentemente utilizado em processo existentes que não satisfazem os clientes ou não atingem os objetivos estratégicos de negócio (MOUSA, 2013).

De acordo com Werkema (2004), a integração entre o método DMAIC, aplicado em melhoria do desempenho de processos e produtos e o método DMADV, aplicado em projetos de novos processos e produtos, tem como ponto de partida o procedimento para seleção de projetos *Six Sigma*. Sendo que as atividades descritas nas três primeiras etapas, DMA (*Define, Measure* e *Analyze*), são similares nos dois métodos, havendo diferenças nas etapas seguintes.

Sua aplicação tem o objetivo de criar um produto de alta qualidade, utilizando os requisitos do cliente em todas as etapas do desenvolvimento. O método utilizado para implementação do DFLSS, inicialmente na *General Electric* (GE) e posteriormente em outras empresas é o DMADV, este método é utilizado em projetos de novos processos e produtos, para conduzir um projeto *Lean Six Sigma* (WERKEMA, 2012). Na Figura 34 é ilustrado o método DMADV.

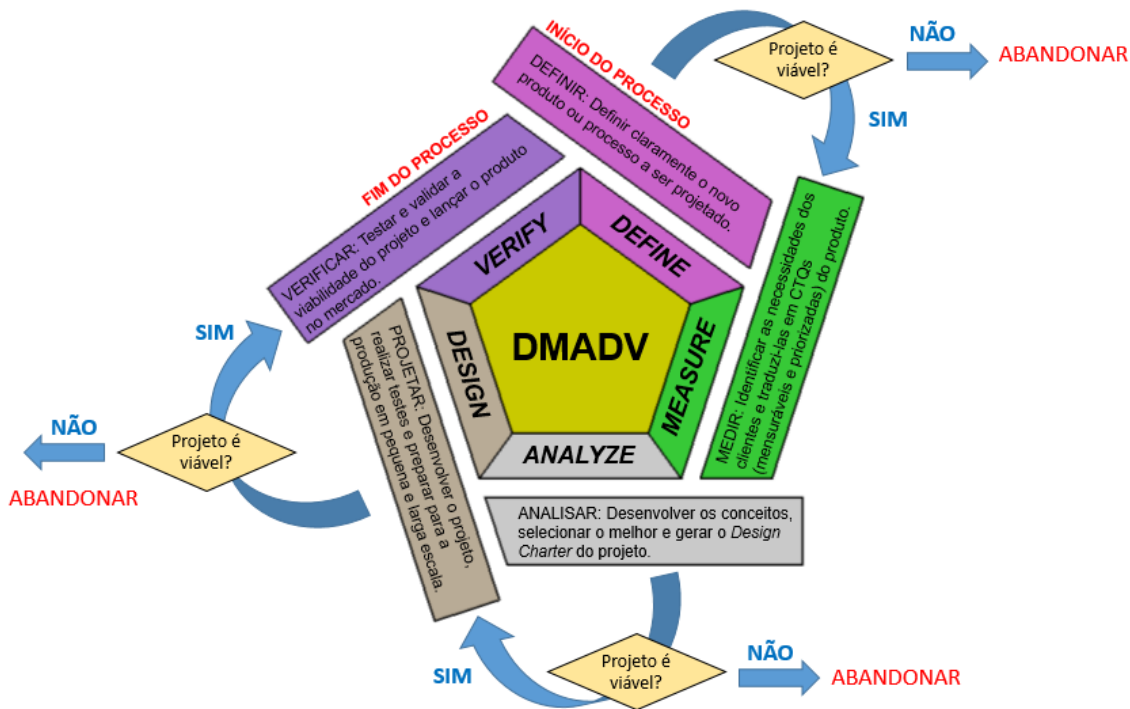



Figura 34 – Método DMADV

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

O roteiro do método DMADV é frequentemente utilizado em processos que não satisfazem os clientes ou não são capazes de alcançar os objetivos do negócio. Ele concentra-se nas etapas *Design e Verify*. Este método é dividido em 5 etapas: *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Design* e *Verify* (ANDERSSON; ERIKSSON; TORSTENSSON, 2006).

Cada etapa do DMADV necessita de várias ferramentas para serem concluídas, Werkema (2012) enfoca na sua bibliografia, que a partir da sua própria experiência na utilização das ferramentas *Six Sigma* e na orientação ministradas aos *Black Belts* para execução de projetos com foco no desenvolvimento de novos produtos, existe integração entre as ferramentas do *Six Sigma* e as etapas do DMADV. As atividades em cada etapa do DMADV, sempre que possível, devem ser executadas simultaneamente e não sequencialmente. Trabalhando desta maneira, será reduzido o prazo de conclusão do projeto e terá maior integração entre os membros da equipe.

Outro método utilizado no DFLSS é chamado IDDOV, possuindo basicamente a mesma estrutura e os mesmos objetivos do método DMADV. Seu significado é: *Identify*, *Define*, *Develop*, *Optimize* e *Verify*. A diferença entre elas está centrada na importância

que se atribuí à quarta etapa do método IDDOV, pois estes dois métodos são considerados metodologias equivalentes.

Etapa D, *DEFINE*

Esta etapa tem o objetivo de identificar a finalidade do projeto, serviço ou processo. Os líderes do projeto identificam e definem as metas realistas e mensuráveis, partindo das necessidades e dos desejos considerados pelos clientes como os mais importantes. O histórico dos comentários dos clientes e outras fontes de informações identificam estas necessidades. As equipes são montadas nesta etapa com a finalidade de conduzir o processo. Werkema (2012) elucida que na etapa *Define* o objetivo é definir de maneira clara o novo processo ou produto a ser projetado, sendo esperados alguns resultados como:

- Documentação para justificar o desenvolvimento do projeto;
- O mercado promissor para o novo produto;
- O estudo preliminar da viabilidade econômica e técnica;
- O prognóstico da data de encerramento do projeto;
- A avaliação inicial dos recursos necessários.

Métricas do projeto e demais testes são desenvolvidos em alinhamento com a informação do cliente.

Etapa M, *MEASURE*

A segunda etapa do DMADV mede os fatores que são críticos para a qualidade, ou CTQs, utilizando as necessidades definidas anteriormente. É importante determinar as métricas críticas para as partes interessadas e os requisitos do cliente devem ser traduzidos em objetivos claros do projeto. Werkema (2012) elucida que a etapa *Measure* tem como propósito principal identificar as necessidades dos consumidores/clientes e traduzir em (CTQs): 'Características Críticas para a Qualidade do Produto', mensuráveis e priorizadas. Os resultados principais esperado nesta etapa são:

- A identificação e a priorização das necessidades dos consumidores/clientes;
- A análise detalhada do mercado;
- O atendimento às necessidades dos consumidores/clientes através das características críticas do produto.

As equipes de tecnologia da organização testam as métricas e as aplicam.

Etapa A, *ANALYZE*

Nesta etapa do DMADV são apresentadas as diferentes opções de processo, testadas e comparadas com os desejos e necessidades dos clientes para definir uma linha de base de melhoria. As equipes definem os processos finais no local e realizam ajustes conforme necessário. É nesta etapa que se determina uma estimativa do custo total do ciclo de vida do projeto. Werkema (2012) elucida que na etapa *Analyze* o objetivo é gerar o *Design Charter* do projeto, através da seleção do conceito que se destacou entre as alternativas desenvolvidas. Nesta etapa espera-se os seguintes resultados:

- A exposição das funções principais a serem projetadas para o que seja atendido às necessidades dos consumidores/clientes;
- O estudo técnico dos diferentes conceitos que estão à disposição e seleção do melhor;
- O estudo financeiro detalhado do projeto.

Etapa D, *DESIGN*

A etapa *Design* do DMADV inclui o projeto detalhado e bem conceituado da alternativa selecionada. Este projeto é desenvolvido a partir da priorização dos elementos do *Design* (WERKEMA, 2012). Na figura 35 é ilustrado o fluxograma com a visão geral da etapa D.

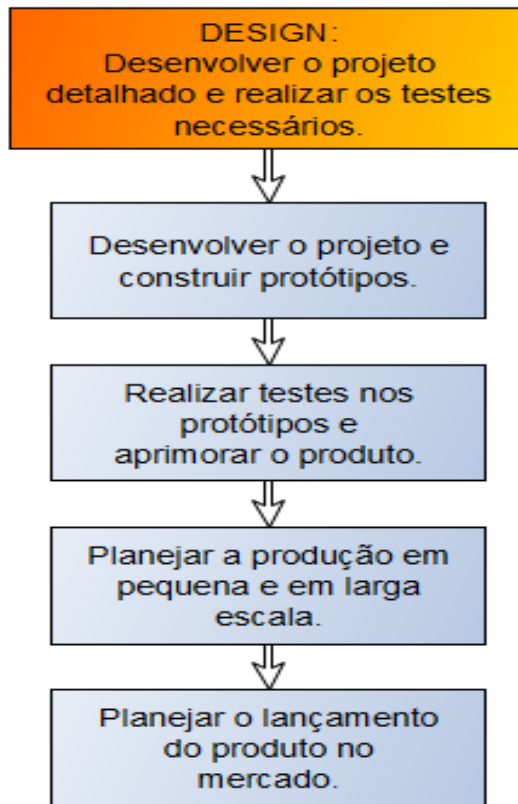



Figura 35 – Etapa D, *Design*

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

Na conclusão desta etapa será realizado um protótipo para identificar onde os erros podem ocorrer e realizar as alterações necessárias. Werkema (2012) elucida que na etapa *Design,* os objetivos são elaborar um projeto detalhado (protótipo), realizar os testes que são necessários e preparar para a produção em pequena e em larga escala. Tem-se como resultados principais esperados:

- A realização do produto físico e efetuar os testes;
- O *feedback* dos consumidores/clientes e a avaliação do mercado sobre os protótipos realizados;
- A programação da produção;
- A programação do lançamento no mercado;
- A avaliação financeira atualizada do projeto.

Etapa V, *VERIFY*

Na última etapa do DMADV a equipe verifica a aceitação do *Design* com todas as partes interessadas e realiza a validação. Executa a corrida piloto e em alta escala, para garantir a qualidade, preparando para a produção total e certificando que ela é sustentável (WERKEMA, 2012). Na figura 36 é ilustrada a visão geral da etapa V.

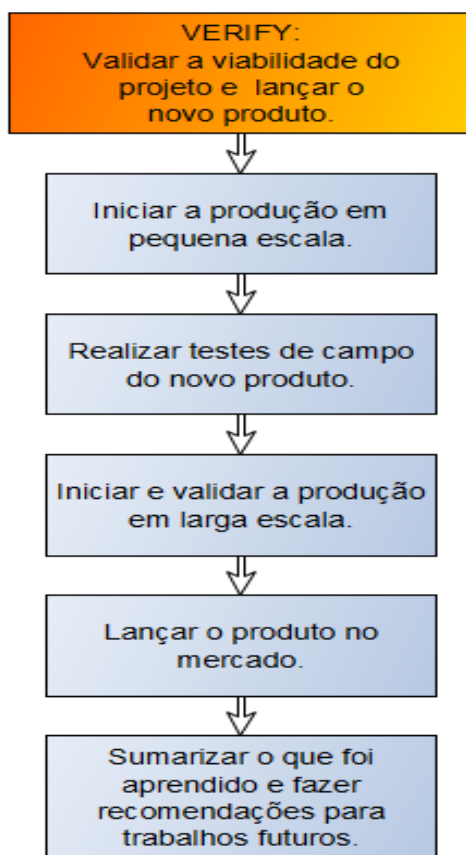



Figura 36 – Etapa V, *Verify*

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

Werkema (2012) elucida que na etapa *Verify,* os objetivos são ensaiar, regularizar a viabilidade do projeto e realizar o lançamento do novo produto no mercado. Os resultados principais desta etapa são:

- O lançamento de produto no mercado;
- A avaliação da performance do projeto.

A última etapa do DMADV é contínua, no lançamento do produto ou serviço, as avaliações dos clientes estão chegando e podem ajustar o processo, as métricas são desenvolvidas com o objetivo de acompanhar o *feedback* contínuo dos clientes em relação ao serviço ou produto.

Ao decorrer da vida útil do produto ou serviço, pode haver necessidade de mudanças que levem a novas aplicações do DMADV, tendo um resultado final completamente alinhado com os desejos, as expectativas e as necessidade dos clientes.

METODOLOGIA DA PESQUISA

PESQUISA CIENTÍFICA

Nesta dissertação, a pesquisa científica buscou discernir fatores relevantes que aprimoram ou não, a gestão do desenvolvimento do produto, praticada por meio da ferramenta APQP.

Ocorre a necessidade da pesquisa científica, quando um conjunto de informações são insuficientes ou inexistentes para explicar uma solução de problema existente. A partir destas pesquisas, constroem-se conhecimentos suficientes para solucionar problemas, explicar seus pontos de vista e facilitar na explanação da implementação de seu produto. A pesquisa científica é uma atividade humana, tendo a finalidade de entender e esclarecer os acontecimentos, concedendo respostas às indagações significativas para o entendimento da natureza (PRODANOV; FREITAS, 2013).

MÉTODO DE PESQUISA

Método é um conjunto de normas ou processos utilizados para atender uma ciência ou arte, sendo maestria para utilizar estas normas a parte prática. A ciência em sua totalidade, emprega inúmeros métodos no atingimento de seus propósitos. (MARCONI; LAKATOS, 2003).

Iniciando na compreensão de que método é um procedimento ou direção para compreender algum fim e que o intuito da ciência é buscar o conhecimento, conseguimos afirmar que método científico é um conjunto de procedimentos utilizados com a finalidade de adquirir conhecimento (PRODANOV; FREITAS, 2013).

CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A classificação de uma pesquisa necessita de vários fatores, indo do problema que será estudado, da situação em relação ao espaço-tempo que se encontra, da sua natureza e do nível de conhecimento do pesquisador. A pesquisa científica objetiva entender cientificamente uma ou mais particularidades de um certo assunto. Para tal, a pesquisa necessita ser metódica, sistemática e crítica. O resultado da pesquisa científica deve favorecer o crescimento do conhecimento humano. A pesquisa na vida acadêmica permite estimular o espírito investigativo nos problemas e trabalhos propostos pelos orientadores e professores, existindo várias maneiras das pesquisas serem classificadas (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Tipo de Pesquisa em Relação a sua Natureza

Em relação a sua natureza, a pesquisa pode ser classificada em:

- Pesquisa Básica: Tem o objetivo de fornecer novos conhecimentos para o avanço da ciência sem previsão da sua utilização prática. Envolvendo interesses e verdades universais (PRODANOV; FREITAS, 2013);
- Pesquisa Aplicada: Tem o objetivo de criar conhecimentos para utilização prática direcionado à solucionar o problema específico. Envolve interesses e verdades locais (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Tipo de Pesquisa em Relação aos seus Objetivos

Em relação aos seus objetivos, as pesquisas podem ser classificada em:

- Pesquisa Exploratória: Todo trabalho acadêmico se inicia com uma pesquisa exploratória, para entender a situação e o que há de teoria sobre o assunto. Nesta pesquisa o aluno investiga determinado problema, compreendendo como as coisas funcionam. Apresenta hipóteses que serão validadas facilitando a compreensão do tema. A fase preliminar da pesquisa tem o objetivo adquirir informações em relação ao assunto investigado, proporcionando sua elucidação e seu planejamento, facilitando o entendimento do tema, determinando os objetivos e formulando as hipóteses para o assunto. Geralmente são as pesquisas bibliográficas e estudos de caso (PRODANOV; FREITAS, 2013);
- Pesquisa Descritiva: Faz uma coleta de dados qualitativos, não interferindo na análise dos dados. Apenas o descreve de maneira imparcial. Estuda, registra, analisa e interpreta a realidade. Esta pesquisa ocorre quando o pesquisador somente explica e registra os acontecimentos examinados, sem intervir neles, visando explicar as particularidades de certo fenômeno ou população, utilizando técnicas para coleta de dados através de observação sistemática e questionário, geralmente assumindo a forma de levantamento. As pesquisas descritivas e as pesquisas exploratórias são utilizadas pelos pesquisadores sociais que estão preocupados com a atuação prática (PRODANOV; FREITAS, 2013);
- Pesquisa Explicativa: Como o próprio nome diz, busca explicar o que está acontecendo, utilizando ou não métodos experimentais para explorar o assunto, aprofundando o conhecimento da realidade. É uma excelente maneira para enriquecer o trabalho. Esta pesquisa é utilizada quando o pesquisador tem o objetivo de esclarecer os porquês dos acontecimentos e suas causas, através da análise de registros, de interpretação de fenômenos analisados e da classificação. Visando identificar os fatores que contribuem ou determinam para a ocorrência dos fenômenos. O método experimental é utilizado na maioria das pesquisas explicativas, possibilitando o controle e a manipulação das variáveis, com o objetivo de identificar o fenômeno em estudo (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Tipo de Pesquisa em Relação aos Procedimentos Técnicos

O procedimento técnico é a maneira que se obtêm as informações necessárias para a realização da pesquisa, iniciando com um modelo conceitual e operativo, descrito como *Design*, podendo ser entendido como o planejamento na dimensão mais ampla da pesquisa, expressando a *sinopse*, as ideias de modelo e o plano. O primeiro passo para qualquer pesquisa científica é o levantamento de dados (MARCONI; LAKATOS, 2003).

O procedimento aplicado no levantamento de dados é o elemento mais importante para o entendimento do planejamento, podendo ser considerado dois grupos: os que se utilizam das fontes de papel (pesquisa documental e pesquisa bibliográfica) e os que se utilizam de dados fornecidos por pessoas (a pesquisa experimental), o Levantamento (*survey*), a Pesquisa Ação, a Pesquisa *ex-post-facto*, a Pesquisa Participante e o Estudo de Caso (PRODANOV; FREITAS, 2013).

- Pesquisa Documental: Sua característica é que a fonte de coleta de informações está limitada a documentos, escritos ou não, publicações avulsas, jornais, cartas, revistas, denominada de fontes primárias (dados ou informações que ainda não foram investigados cientificamente). Os documentos analisados, antigos ou atuais, podem ser um rico complemento à pesquisa bibliográfica. Marconi e Lakatos (2003) elucidam que a particularidade da pesquisa documental está na maneira de coletar os dados, sendo restrita a documentos realizados no momento que ocorre o fenômeno ou fato, ou depois deles serem escritos ou não, denominando-se de fontes primárias. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), esta pesquisa pode ser confundida com a pesquisa bibliográfica, devido à suas características. Enquanto a pesquisa bibliográfica faz uso principal das contribuições de vários autores em relação a determinado assunto, a pesquisa documental fundamenta-se em materiais que ainda não tiveram uma análise analítica ou podem ser refeitos conforme os objetivos da pesquisa;

- Pesquisa Bibliográfica: É a mais comum entre os estudantes, sendo obrigatória em todos os trabalhos científicos. Sua finalidade é proporcionar o acesso à literatura produzida sobre determinado assunto. Abrange toda bibliografia publicada em relação a algum tema estudado, sendo constituído basicamente por livros e artigos científicos, denominadas de fontes secundárias. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), esta pesquisa quando desenvolvida com consulta em material já publicado, formado especialmente de: revistas, livros, publicações em artigos científicos e periódicos, boletins, jornais, teses, dissertações, monografias, internet e material cartográfico, proporciona ao pesquisador o entendimento do assunto da pesquisa;

- Pesquisa Experimental: É baseada em investigar a pesquisa empírica, tendo como objetivo testar hipóteses relacionadas as ligações de tipo causa-efeito. Estas pesquisas utilizam projetos experimentais com os seguintes fatores: selecionar a amostra através de técnica probabilística, grupos de controle (além

do experimental) e utilização de variáveis independentes para administrar os fatores pertinentes (MARCONI; LAKATOS, 2003). Consequentemente, nessa pesquisa, o pesquisado busca reestruturar as condições do fato em estudo, com o objetivo de observá-lo sob controle. Ela é mais utilizada nas ciências biológicas e ciências tecnológicas, com o objetivo de demonstrar porquê e como algum fato é produzido;

- Levantamento (*survey*): Apresenta uma descrição de abordagem quantitativa ou numérica de tendências, atitudes ou opiniões. A análise de dados dos cálculos estatísticos devem compreender: percentagens, médias, moda, correlações, desvio-padrão e margem de erro. O questionário estruturado é o instrumento normalmente utilizado como forma de se obter dados para esse tipo de pesquisa (FREITAS, *et al.* 2000). É realizada uma solicitação de informações a um número significativo de pessoas em relação ao problema estudado, seguidamente a uma análise quantitativa e as conclusões que correspondem aos dados coletados;
- Pesquisa de Campo: É empregada com o objetivo de alcançar conhecimentos e/ou informações sobre um problema ou uma hipótese, no qual procuramos uma resposta, que necessitamos comprovar ou descobrir relações ou novos fenômenos entre eles. Constitui a observação de fenômenos e fatos, na maneira que eles ocorram naturalmente, na coleta de dados referentes a eles e na anotação de variáveis que acreditamos relevantes a serem analisadas (PRODANOV; FREITAS, 2013);
- Estudo de Caso: É utilizado para explicar (como?) e (por que?) o fenômeno acontece. Analisa um contexto real, permitindo a observação de detalhes aprofundados de um ou mais objetos (casos), demonstrando credibilidade sobre o tema. Está entre os métodos mais utilizados em trabalhos acadêmicos, pois contribuem para que o tema em questão se materialize, além da presença da interação entre pesquisados e o que objetiva a pesquisa. Fundamenta-se em coletar e avaliar informações em relação a algum indivíduo, grupo, família ou comunidade, com a finalidade de estudar aspectos variados a respeito de sua vida, conforme assunto da pesquisa. O estudo de caso é considerado uma pesquisa qualitativa e/ou quantitativa, com o objetivo de estudar uma unidade de forma aprofundada, sendo capaz de tratar de uma comunidade, de um grupo de pessoas, de um sujeito, etc. (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Tipo de Pesquisa em Relação a Abordagem do Problema

A pesquisa em relação a abordagem do problema pode ser:

- Pesquisa Quantitativa: É utilizada para mensurar dados de natureza numérica e que serão analisados com métodos estatísticos, lógicos e imparciais, com o objetivo de quantificar um problema e entender a sua dimensão, sem aprofundar nas resoluções por trás desses dados. Para isto é requerida a utilização de técnicas estatísticas (média, percentagem, mediana, moda, desvio-padrão, aná-

lise de regressão, coeficiente de correlação) (PRODANOV; FREITAS, 2013);

- Pesquisa Qualitativa: A coleta de dados é descritiva, o foco está mais no processo do que no resultado, exigindo um estudo amplo do objeto de pesquisa, sem partir de nenhuma hipótese pré-definida ou *feedback* estruturado. Seu resultado não mostra números concretos, mas descrições, ideias e experiências que poderão ser confirmados com a pesquisa quantitativa. Na pesquisa qualitativa a atribuição de significados e a interpretação dos fenômenos são básicas. Não requerer a utilização de métodos e técnicas estatísticas, sendo uma pesquisa descritiva (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A classificação da pesquisa proporcionou uma pesquisa estruturada, essa classificação foi possível após a construção do estado da arte neste capítulo. Na Figura 37 é ilustrada a classificação da pesquisa realizada nesta dissertação, sendo baseada nas metodologias apresentadas.

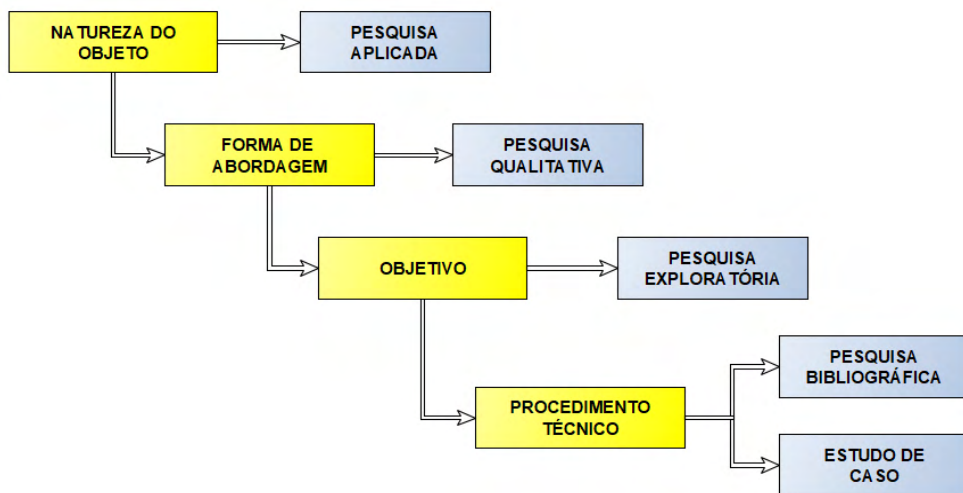



Figura 37 – Fluxograma classificando a pesquisa

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

COLETA DE DADOS

Na fase de coleta de dados o objetivo é adquirir informações da realidade, definindo como e onde serão realizadas as pesquisas, reunindo dados e utilizando técnicas específicas. Nesta etapa define-se o tipo de pesquisa, a amostragem, o universo, os instrumentos de coleta de dados e a maneira que pretende-se classificar e analisar seus dados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A coleta de dados é composta e formada pelo conhecimento da realidade, que deve ser explicada utilizando dados relacionados aos fenômenos investigados na pesquisa. Esta é a etapa que define com mais clareza o trabalho de pesquisa científica (REIS, 2009).

CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA APLICADA NESTE TRABALHO

Para obter uma metodologia efetiva, a pesquisa foi delimitada em três etapas:

- **Etapa 1: Construção do conhecimento teórico e conceitual**

A primeira etapa da pesquisa para a realização desta dissertação iniciou-se com uma extensa pesquisa bibliográfica, trazendo um referencial teórico em literaturas pertinentes ao tema. Nesta etapa foram examinadas fontes importantes das metodologias utilizadas no gerenciamento de desenvolvimento de produto delimitadas nos idiomas nacionais e internacionais, como ilustrado no Gráfico 1.

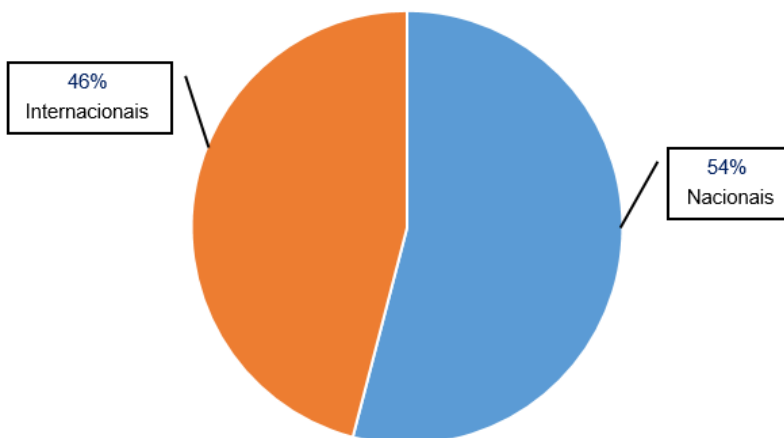



Gráfico 1 - Distribuição dos artigos por idiomas

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

As buscas iniciais foram realizadas por meio do Google Acadêmico, Google aberto, Banco de Teses e Dissertações da Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e Banco de dados *Scielo*. Foram pesquisados documentos referenciados pelos temas: *Six Sigma*, *Lean Six Sigma*, Processo de Desenvolvimento de Produto, APQP, DMAIC e DMADV. Foram escolhidos 95 documentos distribuídos entre artigos, dissertações, livros e teses, como ilustrado no Gráfico 2.

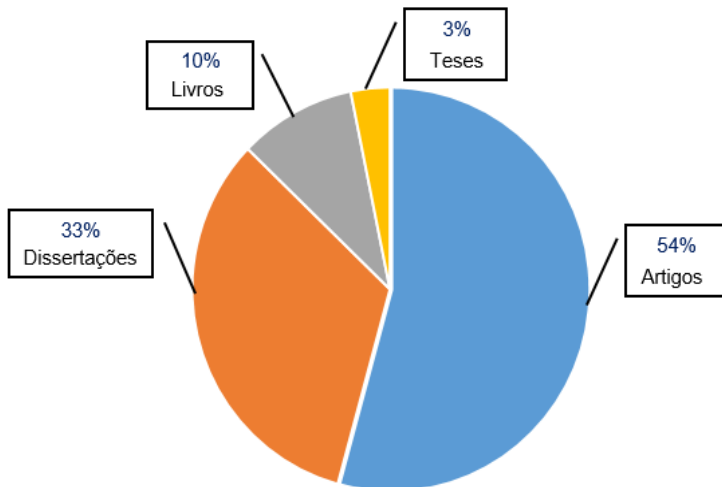



Gráfico 2 - Distribuição das referências bibliográficas por área de conhecimento

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Para apresentar de forma clara o período pesquisado, no Gráfico 3 é ilustrado a distribuição das publicações ao longo dos anos.

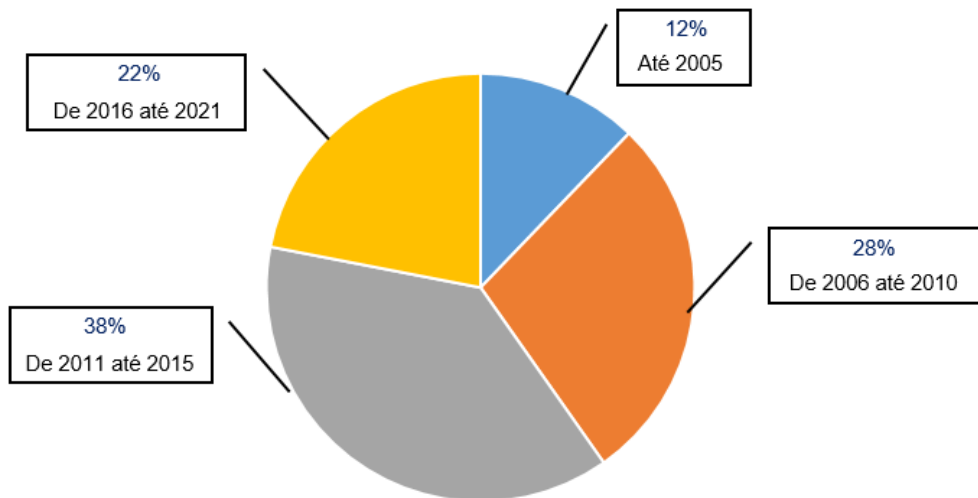



Gráfico 3 - Distribuição das publicações ao longo do tempo

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A interpretação de cada documento relacionado aos temas utilizados nas pesquisas, determinaram a construção do Estado da Arte. Foi adquirida compreensão dos fatos e

estabelecidos fatores que sustentam alterações ou implementações de melhorias em um determinado produto ou processo.

- **Etapa 2: Estudo de caso em um empresa de cinto de segurança**

Com o domínio do Estado da Arte, na segunda etapa da metodologia foi realizado um estudo de caso em uma empresa de cinto de segurança do setor automotivo. Essa empresa utiliza, para a gestão de desenvolvimento e alteração de produto, a metodologia definida pela ferramenta APQP.

Embora realize as atividades com responsabilidade e pertinência, observou-se a necessidade de melhorar a gestão de desenvolvimento de produto, porque a segunda fase do APQP não oferece um gerenciamento assertivo para o desenvolvimento de produto.

Por este motivo, o estudo de caso terá o objetivo de incluir a metodologia DFLSS, que utiliza o método DMADV, na segunda fase da ferramenta APQP. Será apresentada uma solução na montagem do subconjunto do mecanismo do cinto de segurança. A utilização das ferramentas deste método auxiliará o setor de engenharia de produto a realizar uma gestão padronizada e organizada. Foi definido o escopo deste projeto num modelo conceitual de engenharia de sistemas e/ou desenvolvimento de produto, permitindo que o domínio do problema e o domínio da solução estivessem compreensíveis e determinassem uma abordagem assertiva. A Figura 38 ilustra o modelo em 'V' elaborado para a realização deste estudo.

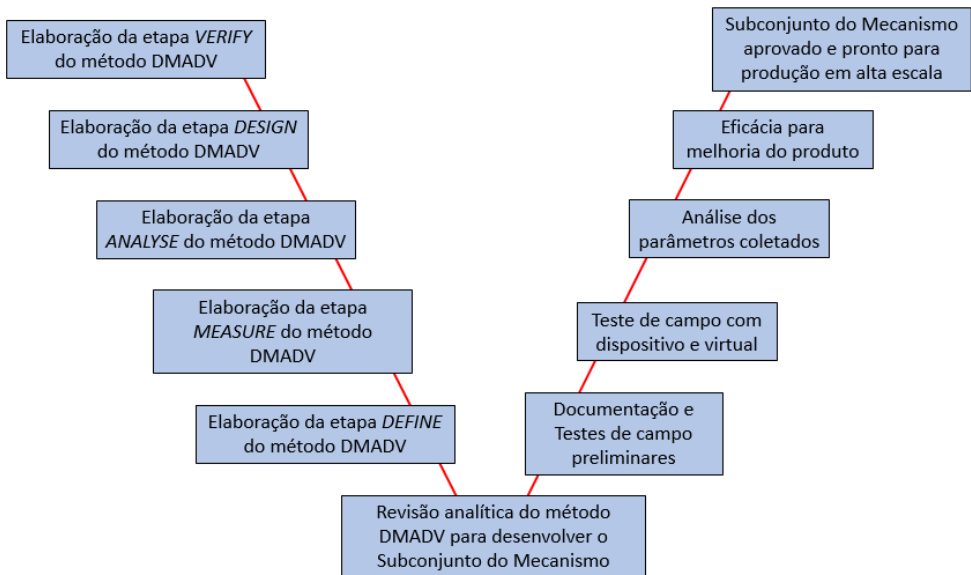



Figura 38 - Modelo V do estudo de caso

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Desta forma, o subconjunto do mecanismo deveria ser desenvolvido com o gerenciamento do método DMADV. As atividades deste método são utilizadas para desenvolver uma solução que possibilitasse o encaixe do subconjunto do mecanismo na placa do mecanismo com redução de força física pelo colaborador da empresa.

A primeira etapa deste método consiste em várias atividades, proporcionando que toda a equipe ficasse alinhada com os requisitos propostos. Na segunda etapa foi dimensionada a força e depois foram analisados os resultados para definir o caminho que deveria ser seguido. Na etapa seguinte foi desenvolvido um produto no programa CATIA V5 R20 e realizado um projeto em manufatura aditiva (impressão 3D), para que fossem realizadas as primeiras avaliações e ensaios. O trabalho foi finalizado com a verificação dos resultados e implementação do produto. Estes procedimentos estão detalhados no Capítulo 5.

- **Etapa 3: Conclusão**

Na terceira etapa foram realizadas as avaliações dos resultados alcançados no estudo de caso, após a utilização do método DMADV na segunda fase da ferramenta APQP. A consolidação dos resultados está apresentada no Capítulo 6.

As três etapas desta pesquisa está ilustrada na Figura 39.

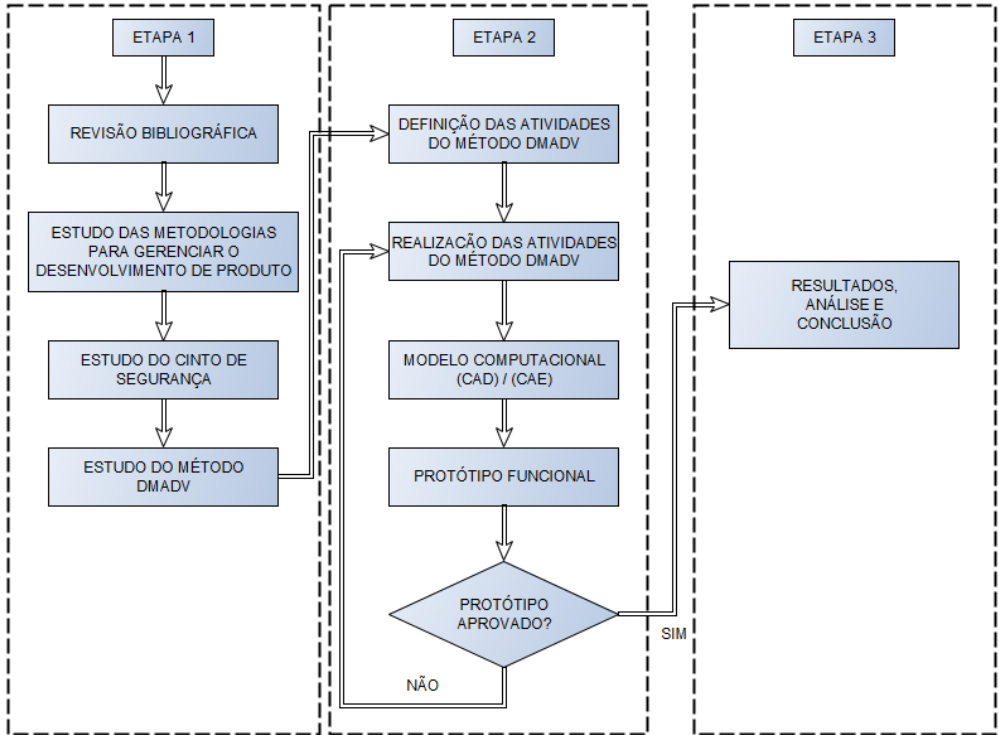



Figura 39 - Desenvolvimento das etapas

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

ESTUDO DE CASO

DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O estudo de caso desta pesquisa foi realizado em uma empresa do setor automotivo, especificamente do segmento de cinto de segurança, presente no Brasil desde os anos 50. O cinto de segurança, por se tratar de um item de segurança veicular passiva, o cumprimento das normas e exigências legais devem ser consideradas essenciais para a sobrevivência da organização. Para atender estas considerações, a empresa aplica programas de melhoria contínua, com o objetivo de eliminar quaisquer desperdícios, realizando treinamentos constantes para os seus colaboradores. Ela tem a missão de produzir e comercializar produtos de alta qualidade para o mercado automotivo, visando se tornar referência no segmento de sistemas de proteção humana. Por questão de direitos, o nome dela será omitido neste trabalho, portanto, denominaremos essa empresa como '*Save Lives*'.

A '*Save Lives*' é uma empresa totalmente verticalizada em seus processos produtivos, sendo que os únicos produtos adquiridos de fornecedores externos são os elementos de fixação. Nela existem vários setores para atender todos os processos produtivos necessários para a manufatura do cinto de segurança, possuindo:

- Uma engenharia experimental homologada internacionalmente, para realização das validações dos produtos desenvolvidos;
- Uma ferramentaria de precisão com um amplo centro de usinagem para a construção e manufatura dos ferramentais;
- Uma área reservada para as injetoras de poliméricos e fundidos, para a injeção dos componentes de polímeros, de alumínios e de zamak (diversas ligas metálicas);
- Um setor de estamparia, com processo de corte, dobra e repuxo, para a manufatura dos componentes metálicos;
- Um setor de tecelagem, onde são tecidos os cadarços do cinto de segurança;
- Uma área reservada para o tratamento térmico e superficial, onde é realizado o tingimento dos cadarços. Dispondo dos processos de Cromo, de *Geomet* e de pintura KTL, para as peças metálicas;
- Por fim, um amplo campo fabril para realização da montagem dos vários tipos de cinto de segurança, com seus devidos ensaios de validação.

Todos estes processos e tecnologias devem atender as exigências de gerenciamento descritas na Norma IATF 16949:2016, que apresenta requisitos que devem ser avaliados para verificar o atendimento dos processos às exigências das montadoras. Para garantir este atendimento, os representantes da área de qualidade da empresa estudada, a empresa

realiza auditorias internas regulares, para certificar-se que os processos estejam atendendo os requisitos e garantindo que a empresa seja certificada por essa norma. Caso a empresa perca a certificação, ela é impossibilitada de participar de novos desenvolvimentos e é impedida de fornecer os produtos correntes.

O foco deste trabalho estará no setor da engenharia de desenvolvimento de produto desta empresa. Ela utiliza a ferramenta APQP para o gerenciamento dos seus processos de desenvolvimento e alteração dos seus produtos. O atendimento desta metodologia é uma exigência para as empresas do seguimento automotivo. A eficiência e a eficácia da ferramenta APQP na gestão do desenvolvimento de produto não será questionada nesta dissertação.

PROPOSTA DO PROJETO

A ferramenta APQP é utilizada na empresa '*Save Lives'* para gerenciar programas de desenvolvimento e alterações dos produtos correntes. A gestão, destas atividades, é realizada pelo *Project Manager* (Gerente do Projeto), que deve ser um colaborador com formação de engenheiro. Ele será responsável em gerenciar as atividades do programa e atendimento das etapas do APQP. O *Project Manager* trabalha diretamente com os Engenheiros de Produto, que são responsáveis em desenvolver soluções tecnológicas para a família de produtos da empresa.

Durante o desenvolvimento de um projeto, a gestão das 5 etapas do APQP é realizada pela equipe de engenheiros e setores envolvidos. O *Project Manager* acompanha e documenta todas as ocorrências através de reuniões quinzenais ou conforme as necessidades do programa, garantindo o cumprimento dos requisitos e atendimento dos prazos do programa.

Este trabalho constituiu uma proposta para incorporar a metodologia DFLSS através do método DMADV, na segunda etapa do APQP. Na empresa em estudo, existe a falta de uma metodologia robusta para documentar todas as atividades exercidas pelos Engenheiros de Produto. Os *Project Managers* gerenciam todas as atividades, sendo que, o gerenciamento da documentação da segunda fase do APQP fica sobre a responsabilidade dos Engenheiros de Produto. Atualmente existe a falta de uma sistemática documentada para os Engenheiros de Produto e é a metodologia proposta pelo método do DMADV que apresenta a robustez desejada, para documentar as atividades e garantir um nível de excelência para os trabalhos futuros.

IMPLEMENTAÇÃO DO FLUXO PROPOSTO

Apresentação do produto

O cinto de segurança de um automóvel é um sistema composto por vários componentes e a maioria destes componentes interage entre si, com a finalidade de realizar o travamento do cinto em uma colisão, uma freada brusca, abrupta ou desaceleração rápida, garantindo a segurança e o conforto do motorista e dos usuários. A forma de montagem de alguns componentes deste sistema são realizadas por cravagem, por soldagem, por interferência e por encaixe.

Neste trabalho serão apresentados dois componentes do cinto de segurança: o suporte do mecanismo e a placa do mecanismo. O primeiro é montado por encaixe no segundo e ambos são manufaturados em polímeros. Para atender o processo produtivo de injeção, estes componentes tem a necessidade de serem projetados com um campo de tolerâncias, provocando uma grande interferência entre eles. Com este cenário, tem-se a dificuldade de montagem e ou deformação de suas formas.

Estes dois componentes são comuns na maioria dos cintos de segurança, variando somente o ângulo de trabalho. O suporte do mecanismo é um componente do subconjunto do mecanismo, composto por uma alavanca e uma esfera, mas eles não realizam interface de montagem com a placa. Todos estes componentes estão dentro do conjunto retrator. Este conjunto é responsável em travar o cadarço, retrocedê-lo quando não estiver em uso e gerar conforto ao usuário. Este sistema não é conhecido pelo usuário final, mas têm importância altíssima no funcionamento do cinto de segurança. Na Figura 40 é ilustrado a parte superior do conjunto retrator sem a tampa, para que seja dado foco somente no suporte do mecanismo (1) que encaixa na placa do mecanismo (2), através de uma força F. Esta força é realizada somente em um lado pois, o outro lado de encaixe, serve somente como posicionamento.

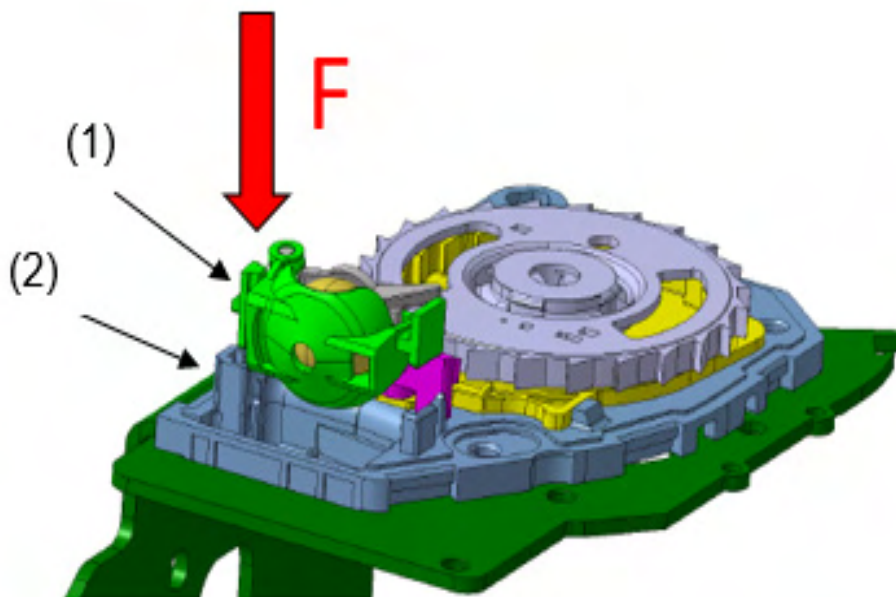



Figura 40 - Conjunto Retrator

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

O estudo de caso utilizou estes dois componentes que serviu de base para apresentar a construção da metodologia proposta.

Motivo da escolha

A engenharia da qualidade da empresa '*Save Lives'* sempre com foco na melhoria contínua. Solicitou ao setor da engenharia de produto, um estudo para eliminar essa interferência e melhorar a forma de montagem destes dois componentes. Ao alcançar o Estado da Arte, com o conhecimento adquirido na pesquisa exploratória, viu-se a oportunidade de implementar uma nova metodologia para gerenciar esta atividade.

Estes dois componentes são montados manualmente, na linha de montagem, ocasionando reclamações dos colaboradores, visto que eles utilizam uma força excessiva para montar o suporte na placa. Outro problema que acontece nesta montagem é a presença de peças refugadas. Por serem peças poliméricas e pequenas, ocorre deformação do suporte do mecanismo e a perda da sua funcionalidade.

Para o desenvolvimento de um novo sistema de encaixe para as duas peças apresentadas, a engenharia de produto realizou o gerenciamento das atividades utilizando a metodologia DFLSS.

Aplicação da metodologia DFLSS

Com a definição de um projeto piloto para a empresa '*Save Lives'*, utilizou-se a metodologia DFLSS com o método DMADV, por meio de uma sequência de atividades que foram realizadas, para o gerenciamento do desenvolvimento de uma solução para o problema apresentado no capítulo anterior.

Aplicação da Etapa Define

A primeira atividade desta etapa foi criar uma equipe multifuncional e realizar um *Project Charter*: um documento contendo o título do projeto, a descrição clara dos objetivos do projeto, o nome do líder e dos colaboradores que participarão do projeto, a descrição do problema e a data de seu início e término.

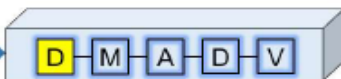
Seguindo a metodologia *Lean Six Sigma*, foi criada na empresa uma equipe multifuncional, abrangendo todos os níveis administrativos e operacionais.

O primeiro passo realizado na empresa '*Save Lives'*, após a definição da equipe, foi uma reunião de abertura do projeto, convocada pelo *Champion*. Nesta reunião foi preenchido um contrato do projeto ou *Project Charter*, firmando um acordo entre a equipe e o *Champion*, este documento inicialmente definiu um título para o projeto, no estudo apresentado neste trabalho o título foi 'Melhoria na Fixação do subconjunto do mecanismo'. Seguindo a metodologia *Lean Six Sigma* foi determinado o início e o término deste programa. Dando sequência ao preenchimento, foram descritos os seguinte itens: um breve histórico dos componentes envolvidos neste projeto; a voz do cliente, com suas necessidades e reclamações; os requisitos do cliente, sendo por meio de norma ou determinado pelo próprio cliente; os objetivos gerais e específicos; as necessidades e justificativas do projeto; e finalizando com uma descrição do desafio tecnológico deste projeto. O Quadro 1 ilustra o *Template* do documento *Project Charter* desenvolvido para empresa '*Save Lives'*.

SAVE LIVES

DFLSS

PROJETO EM LEAN SEIS SIGMA

D - M - A - D - V

PROJECT CHARTER

INTRODUÇÃO

TÍTULO DO PROJETO	MELHORIA NA FIXAÇÃO DO CONJUNTO DO MECANISMO	GERENTE DO PROJETO	
DATA DE INÍCIO	01/05/2020 — DATA DO TÉRMINO 15/12/2020	RESPONSÁVEL DO PROJETO	Marcos A. Alves

ESCOPO DO PROJETO

HISTÓRICO	- O Conjunto do Mecanismo faz parte de um conjunto de peças que realizam o travamento do cinto de segurança em uma colisão, uma freada brusca, abrupta ou desaceleração rápida. Ele é composto por 2 componentes em polímeros (Suporte do Mecanismo e Alavanca do Mecanismo) e uma esfera de aço. A esfera fica repousada no berço do suporte do mecanismo com grau de liberdade e ao deslocar-se levanta a alavanca que é responsável em acionar o sistema para o travamento do eixo de alumínio na carcaça de aço. Este conjunto é montado manualmente, fixando o Suporte na Placa do Mecanismo, sendo este componente manufaturado em polímero. No Suporte existem duas travas, sendo que uma delas encaixa por interferência e outra serve somente de localizador. Devido as variações de tolerâncias necessárias para atender o processo produtivo, algumas combinações determinam uma interferência muito alto no lado trava, ocasionando problemas de força excessiva na montagem, deformação dos componentes e problema de ergonomia com o operador.
VOZ DO CLIENTE	- Dificuldade na montabilidade do Conjunto Mecanismo na Placa do Mecanismo; - Excesso de força aplicada em um lado do Componente Suporte do Mecanismo; - Deformação do componente; - Conjunto reprovado no ensaio de bloqueio por causa da deformação.
REQUISITO DO CLIENTE	- Montar o Conjunto do Mecanismo na Placa do Mecanismo sem deformar os componentes.
OBJETIVO GERAL	- Projetar um sistema de encaixe para o componente "Suporte do Mecanismo" que reduza em 30% a força de montagem.
OBJETIVO ESPECÍFICO	- Desenvolver uma melhoria para o Conjunto do Mecanismo sem alterar seu tamanho nem peso; - Deverá garantir o posicionamento do Sistema na Placa do Mecanismo; - Atender o requisito de força de montagem determinada pelo cliente; - Resistir as movimentações e variabilidades do processo produtivo; - Realizar análise de força em software CAE; - Modelar o sistema em software CAD; - Confeccionar protótipos em manufatura aditiva para análise funcional e validação em laboratório de testes; - Ensaiar e aporvar o protótipo conforme requisitos da norma ECE R-16.
NECESSIDADES DO PROJETO/ JUSIFICATIVAS	- Reclamação dos operadores por força excessiva na montagem; - Afastamento e Ação Judicial por doença causada por este esforço, por exemplo, "Tendinite"; - Refugos detectado no final da linha de montagem.
DESAFIO TECNOLÓGICO DO PROJETO	- Desenvolver uma inovação tecnológica para a fixação do Conjunto Mecanismo, projetando um novo design para o suporte do Mecanismo em uma pequena área já preestabelecida. - Este design deve atender o requisito de força de montagem do cliente e requisitos da norma ECE R-16.

TIME DO PROJETO	NOME	FUNÇÃO	ASSINATURA
GERENTE DO PROJETO			
LÍDER TÉCNICO			
MEMBROS DO TIME			

COMITÊ APROVAÇÃO / REVISÃO	NOME	FUNÇÃO	ASSINATURA
RESPONSÁVEL			
CHEFE DA DIVISÃO DE NEGÓCIOS			
CABEÇA DA UNIDADE DE NEGÓCIOS			
GERENTE FINANCEIRO			

MAA 2021

Quadro 1 - Modelo de *Project Charter*

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

O *Project Charter* foi utilizado para documentar as premissas do projeto e para manter a equipe com foco e alinhada com as atividades. Foi necessária a criação de um cronograma.

Neste projeto foi elaborado um cronograma com todas as etapas do DMADV, que foram executadas durante este desenvolvimento.

Foram realizadas reuniões semanais onde o gerente do projeto acompanhou o andamento das atividades descridas no cronograma, auxiliando a equipe a tomar decisões mais dinâmicas e evitando um atraso no prazo. Na Figura 41 é ilustrado o cronograma elaborado para o projeto.

	ATIVIDADES	PLANO INÍCIO	PLANO DURAÇÃO	REAL INÍCIO	REAL DURAÇÃO	PORCENTAGEM CONCLUÍDO
D	Project Charter	27	1	27	1	100%
	Definir a Equipe	27	1	27	1	100%
	Cronograma Preliminar	27	1	27	1	100%
	SIPOC	28	1	28	1	100%
	Fluxograma	28	1	28	1	100%
	Ishikawa	29	2	29	2	100%
	Matriz Causa e Efeito	29	2	29	2	100%
	Gráfico de Pareto	29	2	29	2	100%
M	Definir Força Aceitável	28	2	28	2	100%
	Determinar Medida de Montagem / Voz do Cliente	28	2	28	2	100%
	Validar o sistema de Medição	29	2	29	2	100%
	Medir a Força Atual de Montagem	30	1	30	1	100%
	Identificar Capabilidade do Processo	31	1	31	1	100%
	Análise em CAE da Força atual	28	3	28	3	100%
A	Analisar os dados da fase medir	32	2	32	2	100%
	Determinar um conceito de Produto	34	4	34	4	100%
	FMEA	38	1	38	1	100%
	Análisar em CAE do novo conceito	38	3	38	3	100%
	Avaliar viabilidade econômica	39	1	39	1	100%
D	Desenvolver Projeto Detalhado	41	1	41	1	100%
	Realizar Protótipo Funcional	41	1	41	1	100%
	Validar Protótipo Funcional	42	2	42	2	100%
	Determinar tolerâncias do Produto	41	1	41	1	100%
	Planejar a Produção em pequena escal	43	4	43	4	100%
V	Iniciar produção - Lote Piloto	47	1	47	1	100%
	Validar do Produto	48	3	48	3	100%
	Descrever o aprendizado e realizar recomendações para trabalhos futuros	51	1	51	1	100%

Figura 41 - Cronograma

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

No início das atividades, para definir uma solução robusta para o problema de montar o suporte na placa, foi realizada uma análise SIPOC dos componentes utilizados, com a participação de uma equipe multidisciplinar. Esta ferramenta propiciou a elaboração

de um resumo em forma de tabela, das entradas e das saídas de um ou mais processos e auxiliou na constatação de elementos expressivos incluso nos processos.

A análise SIPOC tem como objetivo dar uma perfeita visualização do desenrolar dos processos por todos os colaboradores da organização, partindo da classificação das informações de cada atividade em: entradas, processos, saídas, fluxos e especificações de cada uma. Permite uma visão mais abrangente de todos os processos, tornando-os possíveis de atingir um nível de qualidade melhor e determinar diversas melhorias (ANDRADE, *et al.* 2012).

No Quadro 2, é ilustrada a análise SIPOC. Foram considerados os processos de injeção dos polímeros, de compra da esfera, da montagem do subconjunto do mecanismo e da montagem do suporte do mecanismo na placa.

S Suppliers (Fornecedores)	I Inputs (Entradas)	P Process (Processo)	O Outputs (Saídas)	C Customers (Clientes)
Fornecedor de Esferas	Recebimento das esferas	Controlar esferas	Esferas controladas	Almoxarifado
Fornecedor de Polímeros	Recebimento do material Polimérico	Controlar material	Material controlado	Almoxarifado
Almoxarifado	Material Polimérico	Injetar / Controlar Suporte do Mecanismo	Componente controlado	Almoxarifado
Almoxarifado	Material Polimérico	Injetar / Controlar Alavanca do Mecanismo	Componente controlado	Almoxarifado
Almoxarifado	Material Polimérico	Injetar / Controlar Placa do Mecanismo	Componente controlado	Almoxarifado
Almoxarifado	Suporte do Mecanismo Alavanca do Mecanismo Esfera de aço	Montar / Controlar Alavanca do Mecanismo no Suporte do Mecanismo e inserir esfera	Subconjunto do Mecanismo	Almoxarifado
Almoxarifado	Subconjunto do Mecanismo Placa do Mecanismo	Montar / Controlar Subconjunto do Mecanismo na Placa Mecanismo	Subconjunto da Placa do Mecanimso	Almoxarifado

Quadro 2 - SIPOC

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A próxima tarefa realizada pela equipe multifuncional foi a realização de um fluxograma, para que todos, por meio de símbolos gráficos, obtivessem uma visão dos processos envolvidos neste problema.

Fluxograma é uma representação gráfica, que apresenta todas as etapas de um processo, dando uma sequência do início ao fim. Objetiva uma visão do processo atual e proporciona ideias para novos projetos, sendo utilizados diversos símbolos 'estandardizados' (LUCINDA, 2010).

A equipe descreveu o fluxo dos processos das peças injetadas, iniciando na estocagem da matéria-prima, passando pelo processo de injeção e inspeção, terminando no processo de montagem, inspeção e armazenamento. Outro processo que foi desenhado no fluxograma foi o da esfera de aço. Ela não interfere na forma de montagem do suporte na placa, mas faz parte do subconjunto do mecanismo. Iniciou-se no recebimento do componente, passando pela inspeção e armazenagem, finalizando na montagem e nova inspeção. A Figura 42 ilustra um esquema simplificado do processo de montagem do subconjunto placa do mecanismo.

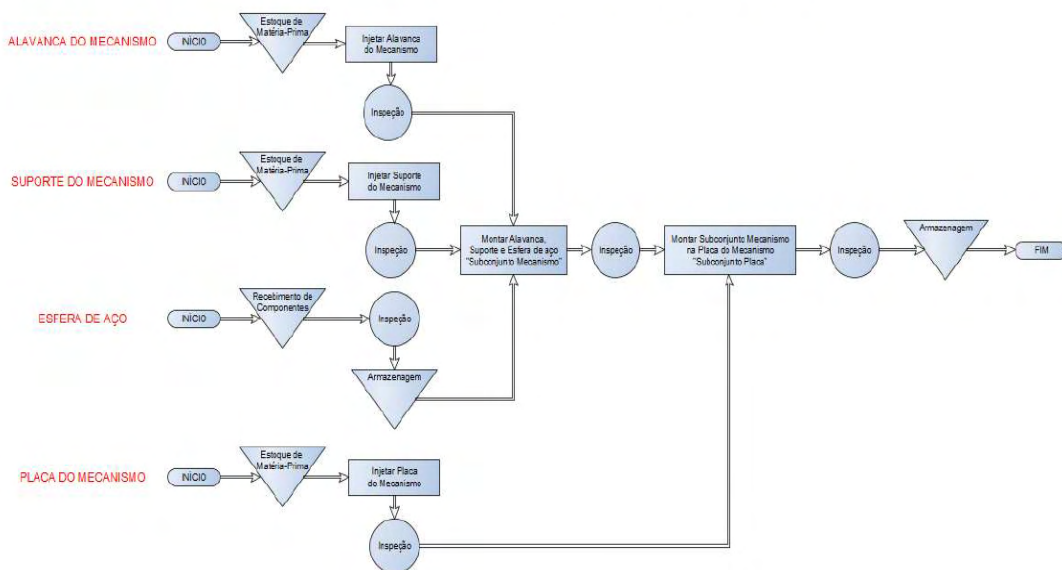



Figura 42 -- Fluxograma dos Processos

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A atividade seguinte, da equipe, foi a utilização da técnica 5W2H. Com ela foi realizada uma série de perguntas com foco no processo produtivo. De acordo com SEBRAE (2017), é uma ferramenta prática que possibilita identificar rotinas e dados significativos de uma unidade de produção ou de um projeto, possibilitando identificar os participantes do processo, dentro da empresa, o que eles fazem e o motivo de realizarem suas atividades. Este método é constituído por sete perguntas, dando sete diretrizes, quando bem respondidas extinguem quaisquer dúvidas, são elas: *What,* o que será realizado?; *Why, por que será realizado?; Where*, onde será realizado?; *When*, quando?; *Who*, por quem será realizado?; *How*, como será realizado?; *How much*, quanto vai custar?.

O Quadro 3 apresenta a técnica 5W2H realizada na empresa '*Save Lives*'. A técnica foi utilizada para identificar as rotinas dos processos de montagem do subconjunto do mecanismo, na placa do mecanismo e o desenvolvimento de uma nova solução para esta forma de montagem.

Projeto: Suporte do Mecanismo - Sistema de fixação						
5W					2H	
What?	Why?	Where?	Who?	When?	How?	How much?
O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?	Quanto?
- Montar o subconjunto do Mecanismo, composto pela Alavanca do Mecanismo, Suporte do Mecanismo e uma esfera	- Conjunto do Mecanismo é responsável pelo bloqueio angular do Cinto de Segurança	- Bancada na linha de montagem	- Colaborador da linha de montagem	- Durante o processo de montagem	- Segurando o Suporte do Mecanismo com uma mão , a outra primeiro encaixa a Alavanca do Mecanismo e coloca a esfera entre eles	- Valor da operação, não divulgado
- Montar o Conjunto do Mecanismo na Placa do Mecanimso	- Conjunto do Mecanismo deve ficar posicionado na Placa do Mecanismo	- Bancada na linha de montagem	- Colaborador da linha de montagem	- Durante o processo de montgem	- Segurando a Placa do Mecanismo com uma mão e a outra encaixa o Suporte do Mecanismo	- Valor da operação, não divulgado
- Projetar um Sistema de Fixação para o Suporte do Mecanismo.	- Melhoria do sistema atual. - Diminuir o esforço realizado na montagem.	- Empresa automotiva fornecedora de Cinto de Segurança.	- Marcos A. Alves e equipe multidisciplinar.	Início: 01/07/2020 Término: 15/12/2020	- Seguindo a metodologia Lean Seis Sigma.	- Não divulgado

Quadro 3 - Técnica 5W2H

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Objetivando o nivelamento de toda equipe, foi realizado um Diagrama de Causa e Efeito (Diagrama de *Ishikawa*). Foram envolvidos colaboradores da manutenção, líderes de produção, engenharia, qualidade, compras, almoxarifado e materiais.

De acordo com Pyzdek (2003), uma equipe que trabalha sobre um determinado problema, estrutura e exibe graficamente, de forma compreensível, seus conhecimentos conquistados sobre este problema até esse momento. Neste diagrama, define-se o problema em questão, anotam-se as possíveis causas que ocasionam o problema, organizando-as por meio das categorias e demonstrando as relações existentes entre cada categoria e as informações documentadas.

A Figura 43 ilustra a forma organizada de exibir as informações descritas para o problema (Força excessiva na montagem). Estas informações foram úteis para a discussão e análise da equipe, dando a eles uma profundidade do problema. Este diagrama foi exposto em um lugar para que todos da equipe pudessem se inspirar e terem mais ideias.

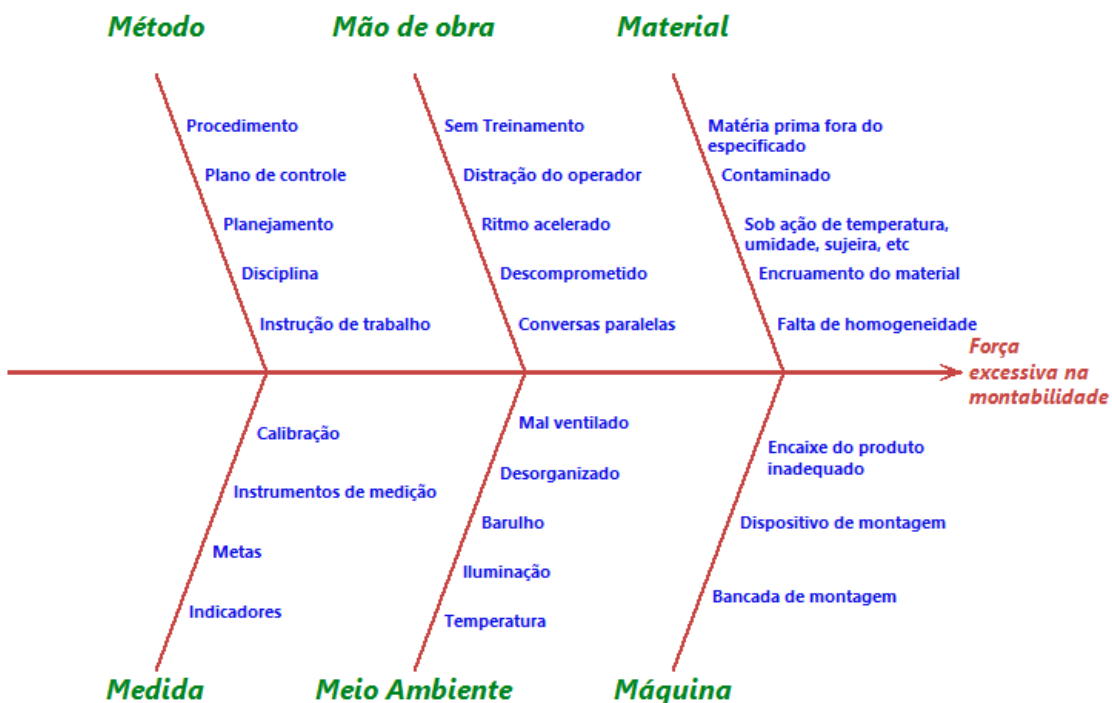



Figura 43 - Diagrama de Causa e Efeito

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Finalizando a etapa *Define*, a equipe realizou uma Matriz de Causa e Efeito e um Diagrama de Pareto 80/20, com a finalidade de identificar quais causas estão impactando

mais diretamente no problema. As 27 variáveis dentro do processo descritas nesta matriz foram pontuadas para determinar as variáveis que seriam atacadas primeiro, na etapa analizar elas serão avaliadas criteriosamente, algumas serão descartadas por terem uma pontuação muito baixa.

Lucinda (2010) descreve que essa ferramenta possibilita a identificação das principais causas dos problemas, determinando a quantidade de eventualidades dessas causas e designando classificações em ordem decrescente do impacto que ocasiona em sua empresa. Na Figura 44 é ilustrada a Matriz de Causa e Efeito realizada na empresa '*Save Lives*'.

DFLSS

PROJETO EM LEAN SEIS SIGMA

CAUSA E EFEITO					
Classificação de importância para o cliente		9			
Característica		1	2	3	
Y / X's — Entrada do Processo		Análise da Montagem do Suporte na Placa			Total
1	Matéria prima fora do especificado	9			81
2	Contaminado	9			81
3	Sob ação de temperatura, umidade, sujeira, etc.	5			45
4	Encruamento do material	5			45
5	Falta de homogeneidade	5			45
6	Sem Treinamento	5			45
7	Distração do operador	5			45
8	Ritmo acelerado	5			45
9	Descomprometido	5			45
10	Conversas paralelas	5			45
11	Bancada de montagem	1			9
12	Dispositivo de montagem	5			45
13	Encaixe do produto inadequado	9			81
14	Procedimento	5			45
15	Plano de controle	1			9
16	Planejamento	1			9
17	Disciplina	1			9
18	Instrução de trabalho	5			45
19	Temperatura	1			9
20	Iluminação	1			9
21	Barulho	1			9
22	Desorganizado	1			9
23	Mal ventilado	1			9
24	Indicadores	1			9
25	Metas	5			45
26	Instrumentos de medição	5			45
27	Calibração	5			45
	Total				963

Figura 44 - Matriz de Causa e Efeito

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A Matriz de Causa e Efeito permitiu a realização do Diagrama de Pareto, utilizando o princípio de Pareto 80/20, determinado pelas seguintes porcentagens: 80% dos problemas são formados por 20% das causas. A Figura 45 ilustra o Diagrama de Pareto realizado na empresa '*Save lives'*, partindo das 27 variáveis da Matriz de Causa e Efeito.

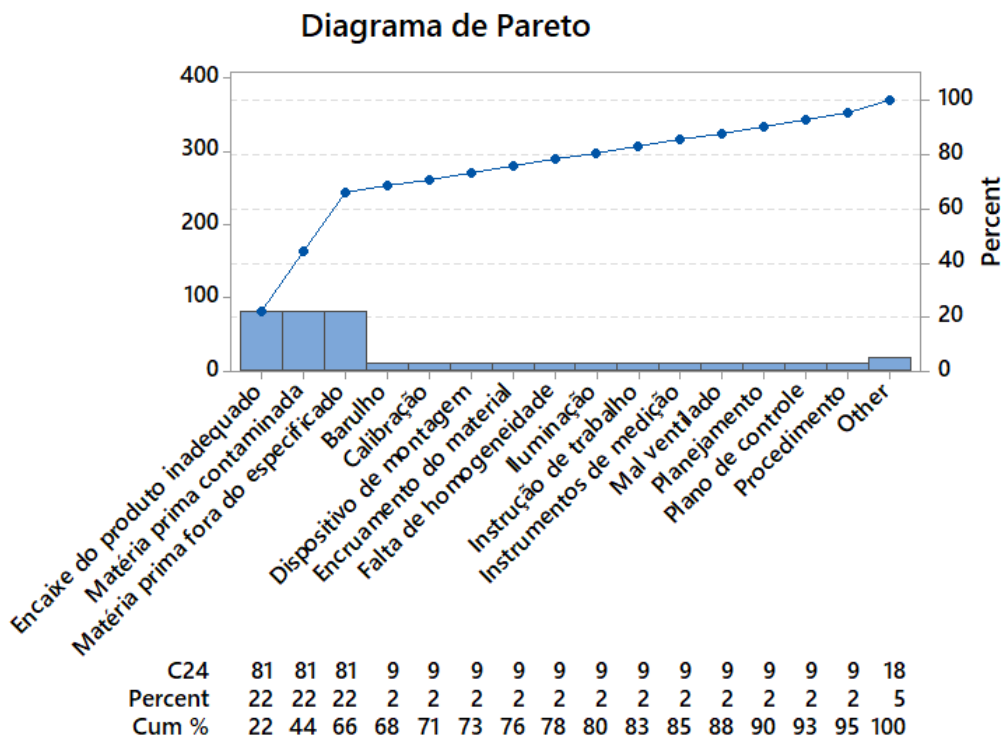



Figura 45 - Diagrama de Pareto

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

De acordo com o Diagrama de Pareto, os três motivos que deveriam ser atacados são: contaminação do material, encaixe do produto inadequado e matéria prima fora do especificado. Na etapa *Analyze*, este diagrama teve uma grande importância, pois ele direcionou a equipe a analisar o principal motivo para diminuir a força de montagem.

Aplicação da Etapa Measure

A segunda etapa do método DMADV iniciou-se com a definição da força de montagem do suporte do mecanismo na placa do mecanismo. O processo de montagem é bem definido na produção. O colaborador pega a placa do mecanismo com a mão direita e a

apoia na bancada, com a mão esquerda pega o subconjunto do mecanismo, posicionando-os nos encaixes e aplicando uma força para a realização da montagem.

Primeiramente foram realizados ensaios experimentais para determinar a força que este colaborador exerce nesta forma de montar. Foi apoiada a placa do mecanismo na base da máquina de ensaio de tração/compressão, simulando a bancada, depois foi encaixado o subconjunto do mecanismo na placa, finalmente foi aplicada uma força de compressão no encaixe, os ensaios geraram os dados que estão sendo apresentados na Tabela 1.

Amostra Nº	ID Amostra	Força Máxima N	Força Máxima Kgf
1	01	55,507	5,66
2	02	72,472	7,39
3	03	65,902	6,72
4	04	57,272	5,84
5	05	68,734	7,01
Valor Mínimo		55,507	5,66
Valor Máximo		72,472	7,39
Valor Médio		63,9774	6,524
Desvio Padrão		7,335	0,748

Tabela 1 - Força de Inserção

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

As forças apresentadas na Tabela 1 determinaram as forças de montagem variando entre 55,507 a 72,472N. A premissa desta melhoria é a redução da força em 30%, portanto, deve-se alcançar uma força máxima de 38,855 N.

Com o propósito de adquirir maior conhecimento na força aplicada pelo colaborador e com o objetivo de simular futuramente uma proposta de melhoria, foi realizado um modelo matemático no *Software Catia V5* (*software* de modelamento CAD) e transferido para o *Software LS-Dyna* (*software* de simulação de elementos finitos CAE). Neste *software* foram preparados os modelos, com a criação de malhas virtuais nas duas peças e realizado a simulação de montagem do suporte do mecanismo na placa do mecanismo. A malha realizada nos modelos determinam a precisão da simulação. Na Figura 46 são ilustradas as peças modeladas no CAE para a realização da simulação de força de montagem. A força neste modelo foi aplicada somente na posição da trava.

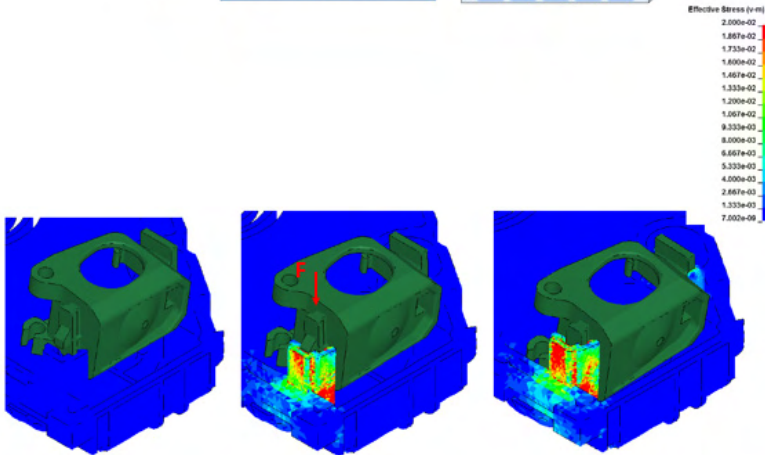
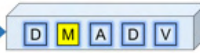



Figura 46 – Análise *LS-Dyna*: Modelo CAE normal de linha

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A simulação realizada no *Software LS-Dyna* gerou um gráfico de forças e ocorreram vários picos e vales. Estas variações foram decorrentes das altas interferências que existem entre as duas peças, resultando deformações elásticas e plásticas. Este fenômeno aconteceu devido as peças serem de materiais poliméricos. O Gráfico 4, apresenta a curva gerada nesta simulação: observa-se que a força na simulação ficou um pouco abaixo das encontradas nas peças injetadas, pois esta variação ocorreu devido as peças injetadas estarem com alta interferência, ocorrida porque elas se encontram numa condição máxima de seus dimensionais. Estas condições dimensionais são permissíveis para o projeto, sendo necessárias para atender o processo produtivo.

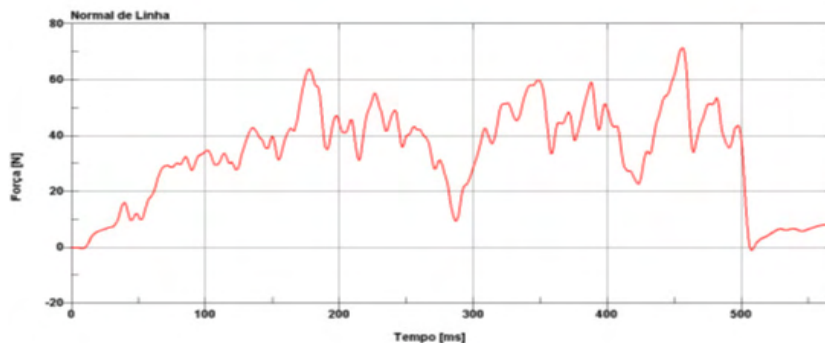
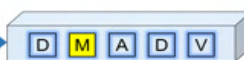



Gráfico 4 - Simulação das peças normais de linha

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Outra atividade realizada na etapa *Measure*, foi a determinação das necessidades dos clientes traduzidas em Características Críticas para a Qualidade (CTQs). Foram estabelecidas as métricas e sistemas de medição através de uma árvore. A Árvore CTQ é um fluxograma de processo, com o objetivo de identificar as características de qualidade através da perspectiva do cliente, auxiliando na identificação dos problemas.

A Figura 47 ilustra a Árvore CTQ desenvolvida para este projeto, inicialmente foi identificada a necessidade crítica que o produto tem que cumprir a voz do cliente. E em seguida, foram identificados os fatores que os clientes assumiram como necessários, para entregar um produto de alta qualidade. Finalizou-se com a identificação dos requisitos de desempenho, que teve o objetivo de também oferecer um produto de qualidade.

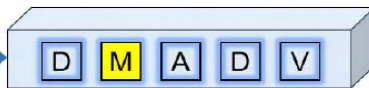
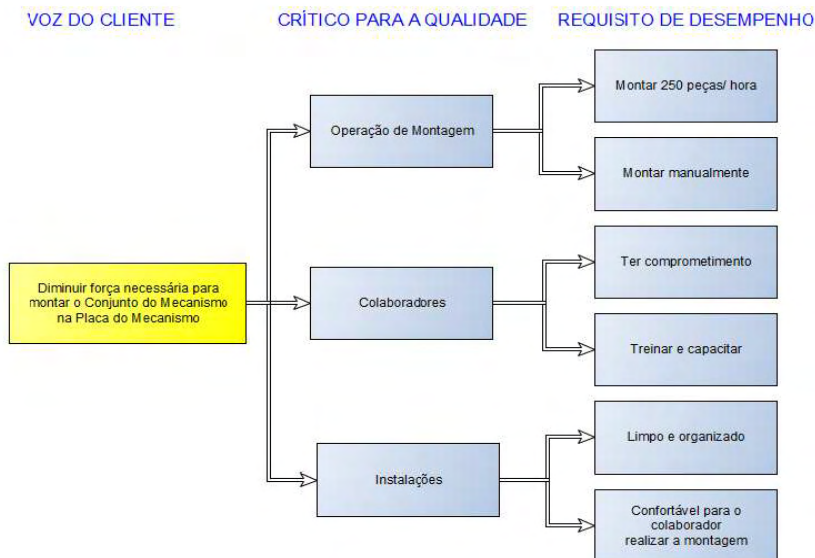



Figura 47 - Árvore CTQ

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Aplicação da Etapa Analyze

A terceira etapa consistiu em produzir conceitos de projetos com base em parâmetros de seleção objetiva.

A etapa iniciou-se com a análise das CTQs determinadas pela voz do cliente, requisitando como objetivo, a redução da força de montagem. Foi levado em consideração, que a operação seria realizada manualmente por um colaborador e existia a necessidade de atender uma produção de 250 peças por hora.

Em seguida foi realizada uma reunião de DFMEA com uma equipe multidisciplinar com o objetivo de conhecer os possíveis modos de falhas e as potenciais causas delas. Nesta reunião, analisou-se os quatro componentes que fazem parte da montagem do suporte na placa. As severidades 9 e 10, por se tratar de um item de segurança, necessitaram de um plano de ação recomendada, para reduzir o valor do NPR. Na Figura 48 é ilustrada uma parte da matriz do DFMEA e no Anexo A é apresentada a matriz do DFMEA de todos os componentes do subconjunto do mecanismo. Nela foram descritos somente os itens com

maiores NPRs, por se tratarem dos itens que exigem mais atenção na análise do DFMEA.

Item / Função	Requisitos/ Especificações	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Severidade	Classificação	Causas/ Mecanismos Potenciais das Falhas	Ocorrência	Controles atuais de Projeto Prevenção	Controles atuais de Projeto Detecção	Detecção	N.P.R.
SUPORTE DO MECANISMO											
Encaixar e montar na Placa do Mecanismo	Montar na Placa do Mecanismo sem que ocorra deformação do componente	Não monta na Placa do Mecanismo	Força excessiva, não monta	8	☆	Erro nas especificações das dimensões de encaixe	3	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	48
		Monta mas com folga excessiva	Intermitência no acionamento	10	☆	Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100
		Monta com muita interferência	Deformação do componente, causa intemitência no acioanmento	10	☆	Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100

Figura 48 - Matriz do DFMEA

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Durante as reuniões nas etapas anteriores (*Define e Measure*), foram apresentadas as documentações e evoluções. Em vários momentos foram convidados colaboradores do processo produtivo para a realização de um *brainstorming* e determinação de hipóteses que levassem à diminuição da força de montagem. Estas reuniões sempre apontaram para uma melhoria no encaixe entre o suporte do mecanismo e a placa do mecanismo.

A Matriz de Causa e Efeito definiu 3 possíveis causas que deveriam ser atacadas para uma definição exata do motivo do problema. Foi determinado trabalhar na otimização do encaixe das duas peças. As outras duas causas, por se tratarem de processos controlados e a engenharia de processo e qualidade garantirem que não existem contaminações de material e que a matéria-prima não se encontrava fora do especificado, foram colocadas em segundo plano.

As análises realizadas no *Software LS-Dyna*, também apontaram para uma grande interferência na montagem das duas peças. Pôde-se concluir que, em não havendo uma adequação, denominada na linha de produção como ‘convite’, de montagem na placa do mecanismo, quando o colaborador inserisse o suporte do mecanismo, existiria uma grande interferência, partindo-se do início da montagem. Essa interferência iria aumentando com a penetração da guia do suporte no alojamento da placa.

A simulação e os ensaios realizados nas peças da linha de produção, determinaram a força atual desta operação, com o objetivo de redução em 30%. Chegou-se a uma força máxima de 38,8N, sendo necessária para que se executasse uma montagem adequada

das peças, garantindo desta maneira, que não houvessem esforços excessivos por parte do colaborador.

A conclusão da etapa *Analyze*, foi a proposição de uma alteração no perfil de encaixe das duas peças. Nas reuniões de *brainstorming* ficou definido que a placa do mecanismo deveria ter um 'ângulo de convite', facilitando para o colaborador encaixar o suporte do mecanismo e ele realizar uma força somente no final do encaixe. Outra ideia proposta nesta reunião foi a realização de encaixe dos dois lados. Atualmente o sistema é constituído de um encaixe com trava de um lado e um posicionador do outro. No momento da montagem, este *Design*, fazia com que o colaborador aplicasse uma força excessiva somente de um lado, ocasionando o desalinhamento e o empenamento do suporte do mecanismo, causando em algumas vezes, refugos na produção.

Aplicação da Etapa Design

A etapa *Design* consistiu em desenvolver um novo perfil de encaixe para o suporte e a placa do mecanismo. Uma vez conhecida a principal causa potencial do esforço necessário para a forma de montagem, foi possível realizar a alteração nestes componentes.

A proposta de solução teve que atender uma premissa do projeto: realizar um perfil em uma área já definida dos componentes e esta alteração deveria ser implementada nos ferramentais existentes. Portanto, não seriam utilizados novos equipamentos e ferramentais. Somente uma adequação do produto existente para este novo conceito.

Utilizando o *Software Catia V5*, foram modeladas algumas propostas para atender a necessidade do cliente que foram apresentadas para a equipe e chegou-se à seguinte conclusão: Utilizar dois pinos cônicos com um rasgo para diminuir o esforço, sendo uma solução muito exequível. A Figura 49 ilustra o suporte e a placa do mecanismo com a proposta descrita. Na placa também foi incluída uma trava do tipo *snap-fit* para fixação do suporte.

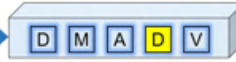
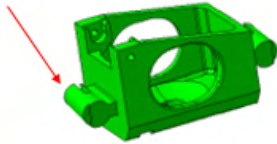
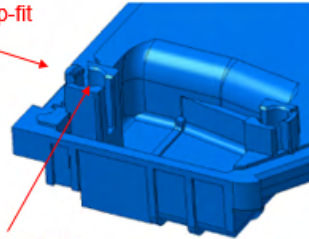
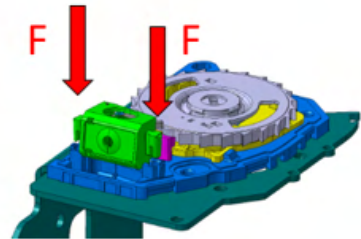
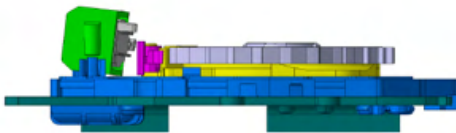



Figura 49 - Modelamento da solução de encaixe

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Observa-se na Figura 49 que foi desenvolvido no suporte do mecanismo duas travas na forma de eixos cônicos, contendo um rasgo, no meio. Com este perfil, a montagem na placa do mecanismo sofreria interferência somente quando estiver finalizando a sua inserção. Ainda será possível uma deformação e diminuição da pressão na montagem, devido ao rasgo realizado no centro do eixo. Na Figura 49 também é apresentada a nova configuração de montagem: o colaborador deverá aplicar força nos dois lados, propiciando um encaixe mais alinhado e centralizado.

A solução obteve uma aceitação unânime, mas para certificar que a força de montagem iria ficar menor, foi realizado uma análise de força no Software LS-Dyna. Foram utilizados os mesmos parâmetros da simulação realizada nos componentes normais de linha. A Figura 50 ilustra o modelo CAE da simulação de força. Pode-se observar que foram aplicadas forças nos dois lados, portanto, a força resultante será agora, dividida em duas parcelas.

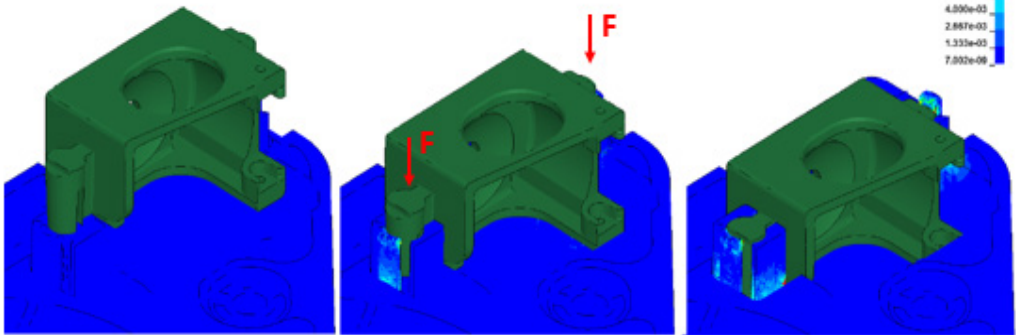
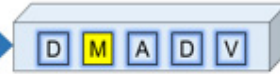



Figura 50 - Análise *LS-Dyna:* Modelo CAE proposto

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A simulação no *Software LS-Dyna* gerou um gráfico de força da simulação realizada. O cálculo para este gráfico iniciou no momento que o suporte apoiou na placa do mecanismo e a força máxima alcançada foi de 25N. Pôde-se observar que o comportamento é diferente do gráfico realizado no componente normal de linha (Gráfico 4). Na nova proposta, a força inicia-se bem baixa e aumenta com o passar do tempo, ou seja, devido as peças serem cônicas, a força acontece somente no final da montagem. O Gráfico 5 ilustra a curva crescente gerada na simulação de montagem.

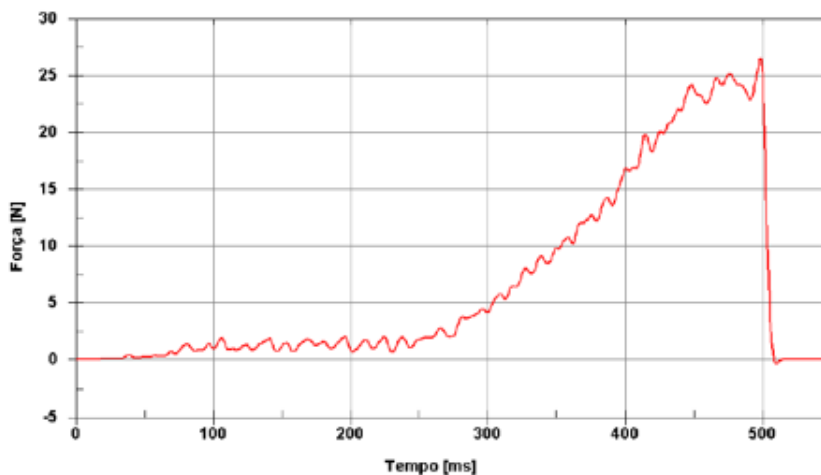



Gráfico 5 - Simulação da Proposta de Melhoria

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Para finalizar a etapa *Design*, realizou-se amostra em manufatura aditiva das peças. Através deste recurso, conseguiu-se apresentar a proposta para a equipe e todos puderam verificar a facilidade que o colaborador teve em guiar o suporte na placa e o pequeno esforço para finalizar a montagem. A Figura 51 ilustra as peças realizadas em manufatura aditiva.

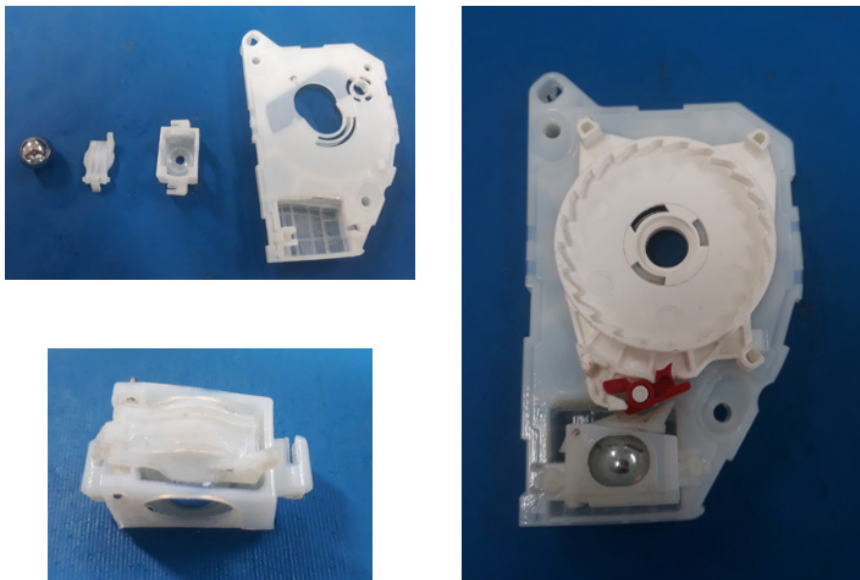



Figura 51 - Proposta em Manufatura Aditiva

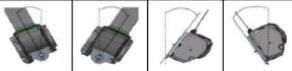
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Com estes componentes em mãos, foram montados conjuntos de retratores do cinto de segurança e solicitado ensaio de bloqueio angular e sensibilidade ao veículo. Estes ensaios fazem parte de um plano de validação existente na norma NBR 7337. As peças foram aprovadas em ambos os ensaios, proporcionando uma garantia maior na proposta apresentada. Com estas aprovações foi solicitada uma manufatura de ferramentais protótipos e iniciou-se o planejamento da produção em pequena e larga escala.

Aplicação da Etapa Verify

Após a realização dos ferramentais protótipos com uma cavidade, foi injetado e dimensionado a proposta de suporte do mecanismo e placa do mecanismo e com estes componentes aprovados no teste dimensional, foram realizados os ensaios de validação. Inicialmente foi realizado o ensaio de bloqueio angular, em laboratório, de acordo com a norma NBR 7337.

O subconjunto do mecanismo é o sistema responsável pelo bloqueio, ele é inserido na placa do mecanismo, eles fazem parte do conjunto retrátil do cinto de segurança, responsável em realizar o bloqueio do sistema com uma inclinação superior a 12º e inferior a 27º. Os dados destes ensaios são ilustrados na Figura 52. Foram realizadas simulações de acordo com a inclinação de fixação no veículo e ensaiados nas 4 posições possíveis de

inclinações, foram realizados ensaios em 5 conjuntos e todos obtiveram valores compatíveis com o determinado pela norma.

SAVE LIVES

DFLSS

PROJETO EM LEAN SEIS SIGMA → D M A D V

RELATÓRIO Nº 195/20

Cliente:	Engenharia de Produto	Motivo do Teste:	Desenvolvimento de Produto	Responsável:	Engenharia Experimental
Produto:	Conjunto Retrátil	Código Save Lives:	156380-B	Depatamento:	Engenharia Experimental
Código do Cliente:	Não Aplicado	Data:	07/12/2020	E-mail:	engenharia.experimental@savelives.com.br

ITEM	DESCRIÇÃO	MÉTODO DE TESTE/ REVISÃO	EQUIPAMENTO DE TESTE	ESPECIFICAÇÃO	CONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS	TEMPERATURA/ UMIDADE DO TESTE
1	Ensaio de Bloqueio Angular	Conforme NBR 7337	Máquina de Bloqueio Angular	Retratores do tipo 4 não devem bloquear com inclinação inferior a 12° e devem bloquear com inclinações supriores a 27°	Não Aplicado	23ºC / 62ºC

ITEM	QUANTIDADE DE AMOSTRAS	Nº DA AMOSTRA	1	2	3	4	LAUDO APROVADO	LAUDO REPROVADO	ANEXOS	COMENTÁRIOS
1	5	1 SENSOR MECANISMO 90º/90º	23	19	22	20	X		-	-
			23	20	21	19				
			22	19	23	21				
		2 SENSOR MECANISMO 90º/90º	21	21	22	21	X		-	-
			23	20	22	20				
			22	20	21	19				
		3 SENSOR MECANISMO 90º/90º	22	20	23	20	X		-	-
			21	19	21	21				
			21	21	22	21				
		4 SENSOR MECANISMO 90º/90º	22	21	21	22	X		-	-
			21	20	23	20				
			23	21	24	19				
		5 SENSOR MECANISMO 90º/90º	22	21	21	20	X		-	-
			23	19	22	21				
			22	20	21	21				

OBSERVAÇÕES: Houve facilidade na montabilidade do Subconjunto do Mecanismo na Placa do Mecanismo.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES: Os resultados foram satisfatórios

LAUDO FINAL: [X] APROVADO [ ] REPROVADO | EXECUTOR: João | RESPONSÁVEL: David | DATA: 09/12/2021

Figura 52 - Ensaio de Bloqueio Angular

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Após a validação do bloqueio angular, foi realizada a segunda etapa de validação do sistema de bloqueio: o ensaio de sensibilidade ao veículo. Neste ensaio simula-se a desaceleração de um veículo, fazendo com que o sistema bloqueie com uma desaceleração máxima de 0,45g, com um gradiente entre 25 e 150 g/s e com um deslocamento máximo de cadarço de 50mm. São ensaios nas 4 posições angulares (0º, 90º,180º e 270º). A Figura 53 ilustra os resultados obtidos nas 5 peças e os resultados foram satisfatórios para todas.

SAVE LIVES

DFLSS

PROJETO EM LEAN SEIS SIGMA → D M A D V

RELATÓRIO N° 196/20

Cliente:	Engenharia de Produto	Motivo do Teste:	Desenvolvimento de Produto	Responsável:	Engenharia Experimental
Produto:	Conjunto Retrátil	Código Save Lives:	156380-B	Depatamento:	Engenharia Experimental
Código do Cliente:	Não Aplicado	Data:	07/12/2020	E-mail:	engenharia.experimental@savelives.com.br

ITEM	DESCRIÇÃO	MÉTODO DE TESTE/ REVISÃO	EQUIPAMENTO DE TESTE	ESPECIFICAÇÃO	CONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS	TEMPERATURA/ UMIDADE DO TESTE
1	Ensaio deSensibilidade ao veículo	Conforme NBR 7337	Máquina de Sensibilidade ao veículo	O travamento deve ocorrer com um nível de aceleração de no máximo 0,45g. O gradiente de aceleração deve estar entre 25 e 150g/s e o travamento deve ocorrer com o máximo de 50mm de deslocamento de cadarço.	Não Aplicado	23ºC / 62ºC

ITEM	QUANTIDADE DE AMOSTRAS	Nº DA AMOSTRA	0°	90°	180°	270°	DESLOC. MÁXIMO (mm)	GRADIENTE (g/s)	LAUDO APROVADO	LAUDO REPROVADO	ANEXOS	COMENTÁRIOS
1	5	1 SENSOR MECANISMO 90º/90º	0,41	0,44	0,43	0,38	41,80	75	X		-	-
		2 SENSOR MECANISMO 90º/90º	0,42	0,45	0,44	0,39	32,40		X		-	-
		3 SENSOR MECANISMO 90º/90º	0,40	0,43	0,44	0,38	32,50		X		-	-
		4 SENSOR MECANISMO 90º/90º	0,43	0,45	0,42	0,42	26,30		X		-	-
		5 SENSOR MECANISMO 90º/90º	0,35	0,38	0,41	0,41	36,50		X		-	-

OBSERVAÇÕES: Houve facilidade na montabilidade do Subconjunto do Mecanismo na Placa do Mecanismo.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES: Os resultados foram satisfatórios

LAUDO FINAL:	☒ APROVADO	☐ REPROVADO	EXECUTOR:	João	RESPONSÁVEL:	David	DATA:	09/12/2021

Figura 53 - Ensaio de Sensibilidade ao veículo

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Com a aprovação nos dois ensaios realizados, a engenharia de processo e qualidade iniciaram os trabalhos para a liberação da produção em pequena escala.

A última etapa desta metodologia determina algumas atividades e utilização de várias ferramentas para homologar o produto no fornecedor. Como o propósito deste trabalho foi a implementação de uma melhoria em um produto existente, a etapa *Verify*, tratou apenas da atividade de aprovação em ensaios laboratoriais e alteração das documentações de processo para a implementação em produção de alta escala.

QUANTIFICAR O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Nos últimos três anos, a engenharia de produto da empresa '*Save Lives'* gerenciou 2 desenvolvimentos de novos produtos e 3 desenvolvimentos de melhorias de produtos existentes. A gestão realizada pela empresa utilizou a ferramenta APQP, conforme exigência da Norma IATF 16949:2016. Para estes desenvolvimentos, foram realizados algumas alterações nos protótipos durante a validação, essas alterações ocorreram antes do congelamento e implementação do projeto. A Tabela 2 apresenta as quantidades de alterações de cada projeto.

	NOVOS PRODUTOS	MELHORIAS	QUANTIDADES DE ALTERAÇÕES
1	PROJ. A		3
2	PROJ. B		4
3		PROJ. C	2
4		PROJ. D	3
5		PROJ. E	2

Tabela 2 – Alterações no desenvolvimento dos últimos 4 anos

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Essas alterações decorreram da falta de uma análise mais assertiva. Nestes casos, ocorreu a ausência da utilização de ferramentas e métodos que garantiriam o reconhecimento dos modos de falhas, as interfaces de montagem e a avaliação sistematizada do fluxo do processo de produção e montagem.

Utilizando o Projeto A, como exemplo, nele foram realizados três alterações, significando que a engenharia de produto desenvolveu uma solução e quando foi validar o protótipo este não atendeu o requisito da norma do cliente ou alguma necessidade da produção. Após a reprovação, houve uma nova análise e realizadas as alterações necessárias. Foram executadas mais duas alterações no projeto e realizados novos protótipos, antes que ocorresse a validação do produto.

A engenharia de produto gerenciou o Projeto A utilizando as atividades de acordo com a segunda fase do APQP, iniciando com a elaboração do DFMEA por uma equipe multidisciplinar. Após esta reunião foi projetada a solução em *Software* de desenho e realizada a construção de protótipo para garantir o alinhamento com as expectativas do cliente. O anexo B ilustra o DFMEA realizado pela equipe multidisciplinar com os maiores NPRs. Eles são considerados como críticos para o produto e processo.

A utilização das ferramentas do método DMADV, descritas na metodologia *Design*

for Lean Six Sigma, na segunda fase do APQP, determinam ao gerenciamento do projeto caminhos mais assertivos, consequentemente, garante que o número de alterações no desenvolvimento de produto sejam reduzidos ao mínimo e atendam aos requisitos do cliente.

O Diagrama de Causa e Efeito e o Gráfico de Pareto, executados após a realização de um *Brainstorming* com uma equipe multidisciplinar, possibilitam quantificar e determinar, com precisão, as causas que impactam no problema do produto e/ou no processo produtivo.

Para quantificar se haveria algum ganho no desenvolvimento do Projeto A, a engenharia de produto realizou uma avaliação iniciando com o Diagrama de *Ishikawa.* Para determinar as possíveis causas de problemas que determinaram alterações no desenvolvimento da haste do fecho, foi realizada a análise apresentada na Figura 54.

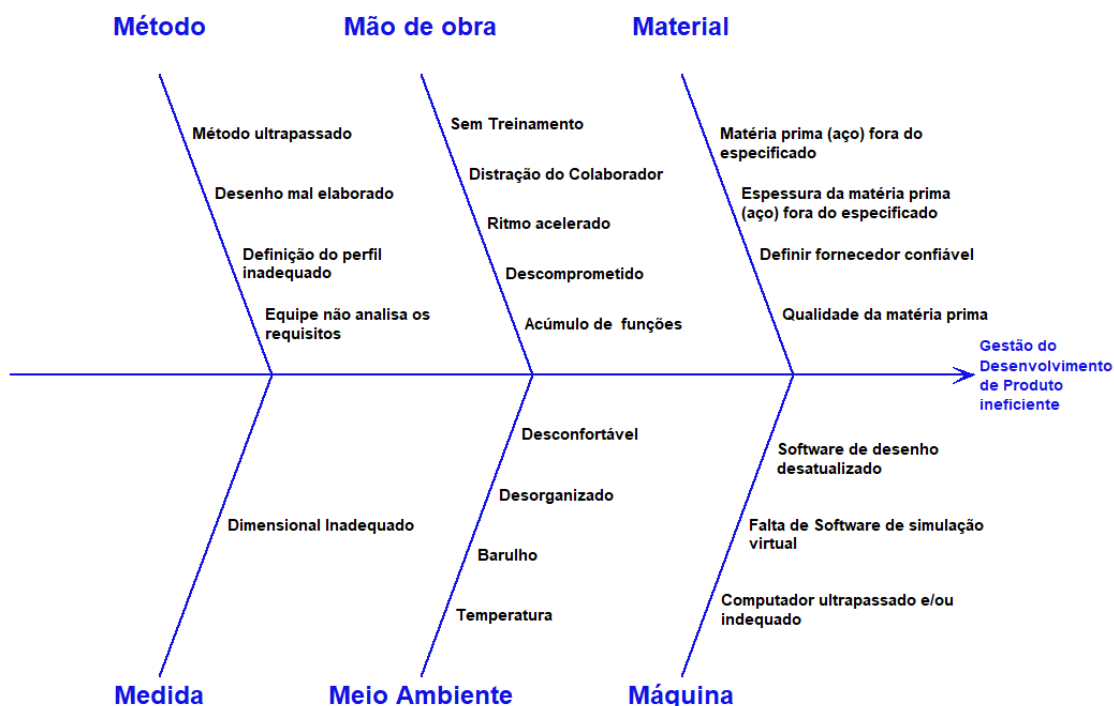



Figura 54 -- Diagrama de Ishikawa

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Após a realização do Diagrama de *Ishikawa*, foi realizada a Matriz de Causa e

Efeito. O Quadro 4 ilustra as causas e subcausas apresentadas no Diagrama de *Ishikawa*, explicando cada elemento do Diagrama e facilitando o entendimento das principais causas do problema.

CAUSA E EFEITO							
Classificação de importância para o cliente				9			
Característica				1	2	3	
Entrada do Processo	X's		Y	Análise das entradas			Total
1	MATERIAL	Matéria prima (aço) fora do especificado	Garantido na Inspeção do recebimento do produto	1			9
2		Espessura da matéria prima (aço) fora do especificado	Garantido na Inspeção do recebimento do produto	1			9
3		Definir fornecedor confiável	A IATF garante o tier 2 qualificado	1			9
4		Qualidade da matéria prima	Garantido na Inspeção do recebimento do produto	1			9
5	MÃO DE OBRA	Sem Treinamento	Empresa realiza treinamentos	1			9
6		Distração do Colaborador	A empresa oferece incentivos	1			9
7		Ritmo acelerado	Gestão das atividades dos funcionários	1			9
8		Descomprometido	A empresa oferece incentivos	1			9
9		Acúmulo de funções	Gestão das atividades dos funcionários	1			9
10	MÁQUINA	Computador ultrapassada e/ou inadequada	Informática realiza upgrade das máquinas	1			9
11		Falta de Software de simulação virtual	Bancada de montagem	1			9
12		Software de desenho desatualizado	Dispositivo de montagem	1			9
13	MÉTODO	Método ultrapassado	Mal definição da causa raiz	9			81
14		Desenho mal elaborado	Falta de entendimento da equipe	1			9
15		Definição do perfil inadequado	Perfil não atende requisitos	9			81
16		Equipe não analisa os requisitos	Falta de atendimento de algum requisito	9			81
17	MEIO AMBIENTE	Temperatura	Empresa com sala climatizada	1			9
18		Barulho	Sala reservada	1			9
19		Desorganizado	A empresa oferece incentivos	1			9
20		Desconfortável	Empresa com sala reservada	1			9
21	MEDIDA	Dimensional Inadequado	Falha na análise da equipe	1			9
Total							405

Quadro 4 - Matriz de Causa e Efeito

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A realização de um Diagrama de Pareto, permitiu a visualização da equipe dos 80% dos problemas formados pelos 20% das causas que podiam ocasionar alguma falha no desenvolvimento da haste do fecho. A Figura 55 ilustra o Diagrama de Pareto.

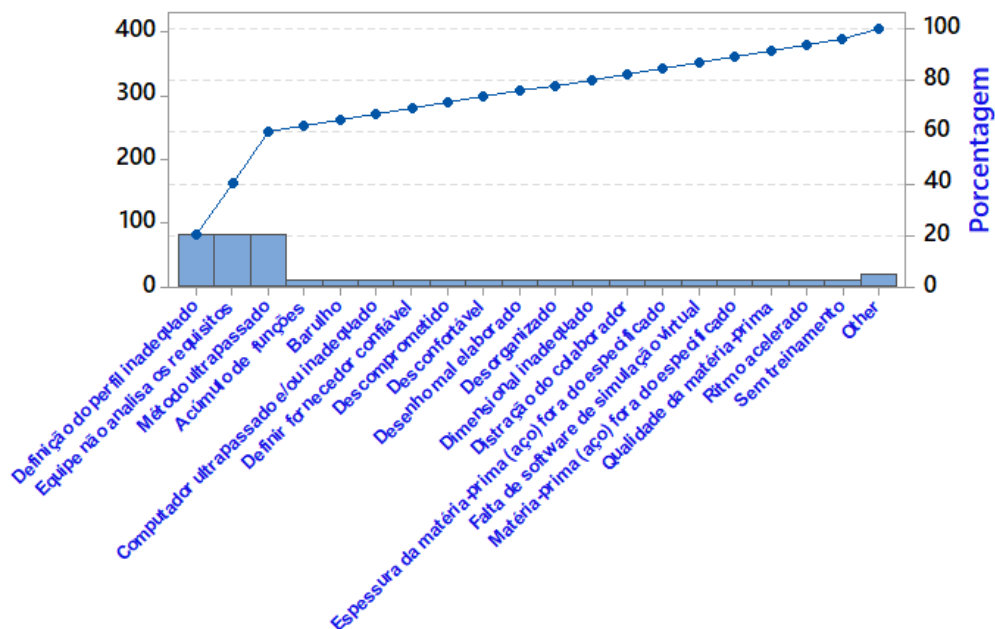



Figura 55 - Diagrama de Pareto

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

De acordo com o Diagrama de Pareto, as causas que necessitavam de melhor gerenciamento no desenvolvimento de uma haste do fecho eram:

- Definição do perfil inadequado;
- Equipe não analisa os requisitos e,
- Método de desenvolvimento ultrapassado.

Quando analisam-se as possíveis causas que determinaram a reprovação do protótipo no desenvolvimento de produto, verificou-se a necessidade do Engenheiro de Desenvolvimento de Produto ter maior cuidado e atenção quando avaliasse as causas de um problema.

Realizando uma simulação de tomadas de ações para as causas, na primeira análise, foi preparada uma nova análise. As pontuações da Matriz Causa e Efeito baixariam com as ações tomadas. Portanto, pôde-se quantificar o ganho obtido com a nova gestão de desenvolvimento do produto. A Figura 56 ilustra a nova avaliação realizada.

CAUSA E EFEITO							
Classificação de importância para o cliente				9			
Característica				1	2	3	
Entrada do Processo		X's	Y	Análise das entradas			Total
1	MATERIAL	Matéria prima (aço) fora do especificado	Garantido na Inspeção do recebimento do produto	1			9
2		Espessura da matéria prima (aço) fora do especificado	Garantido na Inspeção do recebimento do produto	1			9
3		Definir fornecedor confiável	A IATF garante o tier 2 qualificado	1			9
4		Qualidade da matéria prima	Garantido na Inspeção do recebimento do produto	1			9
5	MÃO DE OBRA	Sem Treinamento	Empresa realiza treinamentos	1			9
6		Distração do Colaborador	A empresa oferece incentivos	1			9
7		Ritmo acelerado	Gestão das atividades dos funcionários	1			9
8		Descomprometido	A empresa oferece incentivos	1			9
9		Acúmulo de funções	Gestão das atividades dos funcionários	1			9
10	MÁQUINA	Computador ultrapassada e/ou inadequada	Informática realiza upgrade das máquinas	1			9
11		Falta de Software de simulação virtual	Bancada de montagem	1			9
12		Software de desenho desatualizado	Dispositivo de montagem	1			9
13	MÉTODO	Método ultrapassado	Mal definição da causa raiz	1			45
14		Desenho mal elaborado	Falta de entendimento da equipe	1			9
15		Definição do perfil inadequado	Perfil não atende requisitos	1			45
16		Equipe não analisa os requisitos	Falta de atendimento de algum requisito	1			45
17	MEIO AMBIENTE	Temperatura	Empresa com sala climatizada	1			9
18		Barulho	Sala reservada	1			9
19		Desorganizado	A empresa oferece incentivos	1			9
20		Desconfortável	Empresa com sala reservada	1			9
21	MEDIDA	Dimensional Inadequado	Falha na análise da equipe	1			9
Total							297

Figura 56 – Matriz de Causa e Efeito

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Após a realização da análise das causas, a pontuação total da Matriz de Causa e Efeito que era 405 passou para 297. Portanto, conclui-se que haveria um ganho de 37% no desenvolvimento da haste. Caso a engenheira de desenvolvimento de produto utilizasse esta metodologia do Diagrama Causa e Efeito, identificaria as causas que deveriam ter maior atenção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão bibliográfica realizada apresentou uma grande evolução das metodologias empregadas no gerenciamento de projetos e desenvolvimento de produtos. A introdução delineou as técnicas e as ferramentas, destacando a importância de realizar uma análise robusta no planejamento de uma solução.

A ferramenta APQP é utilizada nas empresas automotivas, sendo que a norma IATF 16949, responsável pela gestão de qualidade destas empresas, exige a utilização desta metodologia com a realização de todas as fases durante o desenvolvimento do produto. Entretanto, a segunda fase desta ferramenta, quando empregada no desenvolvimento de soluções em uma empresa de cinto de segurança automotivo, apresentava resultados que necessitavam de alterações durante a fase protótipo, gerando gastos extras. Consequentemente, a ferramenta APQP demandava a utilização de atividades investigativas que assegurassem uma visão mais assertiva para a equipe.

O método DMADV da metodologia *Lean Six Sigma,* descrito no referencial teórico, apresentou uma robustez nas três primeiras etapas (*Define, Measure* e *Analyze*), oferecendo a todos da equipe uma ampla visão dos requisitos, das necessidades do cliente e dos custos, além de tornar todo o projeto, um evento com característica *Six Sigma*.

Portanto, este estudo mostrou que é possível unir duas metodologias consagradas no desenvolvimento de produto. Com a aplicação do método DMADV, auxiliando a gestão da engenharia de desenvolvimento de produto na segunda fase do APQP em uma empresa automotiva.

GERENCIAMENTO DO PROJETO

A pesquisa realizada na literatura possibilitou uma perspectiva de aperfeiçoamento do gerenciamento no Desenvolvimento de Novos Produtos (DNP), portanto, determinou-se a necessidade da união do método DMADV na segunda fase do APQP. Esta união foi importante para que o Engenheiro de Desenvolvimento de Produto tivesse uma visão global do produto que estava sendo desenvolvido.

A empresa, quando decidiu melhorar o gerenciamento de produto, teve que definir uma equipe focada no sucesso da metodologia, independentemente do nível hierárquico. Por este motivo, as reuniões tiveram o objetivo de manter toda a equipe no mesmo nível de conhecimento em relação ao desenvolvimento. Essa transparência proporcionou um ambiente de trabalho melhor e contribuiu para a comunicação entre todos da equipe.

As atividades descritas nas cinco fases do APQP, gerenciam e direcionam toda equipe à tomadas de decisões muito assertivas. Estas atividades são gerenciadas pelo

Project Manager do Programa. Mas quando utiliza-se o método DMADV na segunda fase do APQP, o Engenheiro de Desenvolvimento de Produto passa a realizar a função de Gestor do Projeto, gerenciando todas as atividades e trabalhando junto com a equipe para definir a melhor solução para os problemas.

Por meio do estudo de caso apresentado, pôde-se destacar alguns aspectos positivos que constatam a eficiência da utilização das atividades do método DMADV na segunda fase da ferramenta APQP, tais como: a obtenção dos objetivos descritos, atendimento aos prazos e evidenciando que o desenvolvimento de uma solução para o cinto de segurança não necessitava de alterações na fase protótipo.

Outro ponto positivo na aplicação do método DMADV no estudo de caso, foi a participação de uma equipe multidisciplinar, realizando várias atividades em grupo, que reforçou a existência de conhecimento por cada um dos colaboradores. Quando se descreve o trabalho em grupo e observa-se as reuniões que foram realizadas, verifica-se que foram muito produtivas. A partir da primeira, onde foi realizado o documento *Project Charter* foram detalhados os objetivos que se pretendia alcançar, a voz do cliente e os desafios tecnológicos. Várias outras atividades foram realizadas, finalizando com as análises dos resultados, onde todos da equipe foram capazes de pontuar sobre cada etapa de trabalho, pois todos estavam engajados à projetar uma solução robusta.

O suporte da alta direção para o sucesso da implementação de uma nova metodologia de gerenciamento de produto foi fundamental. Essa mudança de cultura organizacional se fez necessária para a sobrevivência das maiorias das empresas. Com a participação dos gestores, demonstrou-se que a empresa está empenhada em desenvolver um produto mais robusto que atenda às necessidades do cliente.

COMENTÁRIOS SOBRE O PROJETO APQP/DMADV

O projeto apresentado no estudo de caso determinou o desenvolvimento de um produto, uma solução para diminuir o esforço que o colaborador realizava ao montar o suporte do mecanismo na placa do mecanismo. Para este desenvolvimento foi empregado a ferramenta APQP com a união da metodologia DFLSS, valendo-se das etapas do DMADV no desenvolvimento de um produto, abordando várias atividades no gerenciamento desta solução.

O projeto iniciou-se com a primeira fase da ferramenta APQP. Nesta fase foi apresentado o projeto e definida a equipe multidisciplinar. Esta fase é gerenciada pelo *Project Manager* do programa, todos os gerentes foram envolvidos e as atividades são distribuídas. O *Project Manager* realiza o cronograma APQP, onde é gerenciado os

milestones (eventos) do programa e definida as atividades e os responsáveis.

O foco do trabalho foi na segunda fase da ferramenta APQP, portanto, a primeira fase foi delimitada como satisfatória para o desenvolvimento do produto. Na segunda fase do APQP, as atividades descritas nesta ferramenta foram substituídas pelas etapas do método DMADV. Com as atividades deste método possibilitou-se à engenharia de produto um alinhamento dos problemas que poderiam ser encontrados na fase de protótipo.

O método DMADV direcionou a equipe a realizar várias atividades e tomar decisões mais assertivas. O *Project Charter* foi a primeira atividade realizada na fase *Design*, ao realizar este documento todos os membros da equipe obtiveram uma visão do histórico do produto, a voz do cliente, o requisito do cliente, o objetivo geral e específico, a justificativa para o projeto e o desafio tecnológico que a equipe iria enfrentar.

Após este documento ser preenchido, foi realizado um cronograma com todas as etapas do método DMADV, descrevendo os eventos que deveriam acontecer em cada etapa do método. Destaca-se o Diagrama de *Ishikawa,* como uma atividade primordial na procura da causa principal de um problema. Com ele foi definido a causa raiz, que a engenharia de produto necessitava ter mais atenção ao desenvolver uma solução.

Foi determinado a força que os colaboradores realizavam para montar o suporte do mecanismo na placa do mecanismo na fase *Measure*, nesta fase é determinada quantitativamente o processo, levantado dados e informações das causas dos problemas.

Na fase *Analyze*, ao analisar os dados, a equipe determinou algumas soluções para serem desenvolvidas, houve uma análise detalhada de cada solução e definiu-se trabalhar em uma solução com o perfil cônico nos dois lados do suporte do mecanismo, os ensaios preliminares aprovaram a solução e consequentemente foi avançado com a proposta, chegando a validação do protótipo na primeira versão.

O produto foi validado na fase *Verify* do método DMADV, a próxima fase do APQP, o Desenvolvimento do Processo, aconteceu simultaneamente a segunda fase, portanto, quando o produto foi validado o processo já tinha uma visão do novo produto e estava trabalhando nas documentações para realizar a implementação e validação na produção. Esta implementação e as demais fases da ferramenta APQP não foram descritas neste trabalho.

Portanto, o estudo de caso mostrou uma gestão de desenvolvimento de produto muito assertiva, apresentando uma fase *Define* bem robusta, a fase *Measure* definindo quantitativamente o problema, a fase Analyze analisando os dados determinados nas duas primeiras fases, a fase *Design* projetando e validando virtualmente o produto e a fase *Verify* verificando o produto em pequena escala. De acordo com o que foi descrito, realizou-se um

fluxograma das atividades propostas para a segunda etapa do APQP ilustrado na Figura 57.

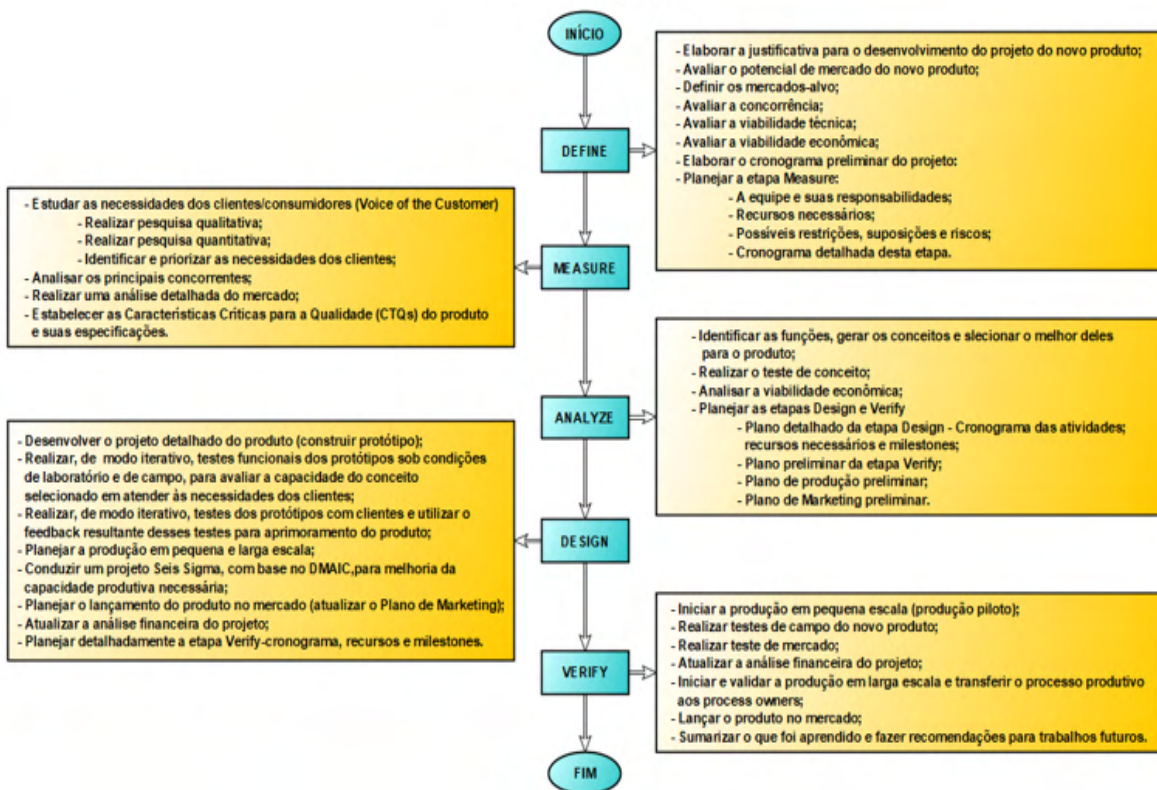



Figura 57 - Atividades DMADV

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu apresentar a aplicação do DFLSS, uma metodologia fortemente estruturada, utilizando o método DMADV no gerenciamento do DNP para proporcionar ganhos significativos em definições na otimização da qualidade do produto. A metodologia tem também o objetivo de evitar custos futuros, em alterações do produto, por reprovações em sua validação, promovendo o completo atendimento dos objetivos do cliente.

A metodologia *Lean Six Sigma*, de um modo geral, é apontada como um tema em crescimento no campo acadêmico e no meio profissional. Poucos trabalhos têm combinado o tema gestão de DNP com as atividades do método DMADV. Porém verificou-se que o tema APQP é um pouco mais divulgado para este gerenciamento.

O gerenciamento do DNP das empresas automotivas está totalmente ligado as atividades do APQP, com a união das atividades do DMADV na segunda fase do APQP, o DNP obtém características de um projeto *Six Sigma*, o que foi também o propósito deste trabalho.

Além disso, este trabalho reuniu a ferramenta APQP à metodologia *Lean Six Sigma*. Durante o desenvolvimento do produto, a equipe envolvida dispôs de reuniões periódicas com a finalidade de direcionar as tomadas de ações mais assertivas. O sucesso da união destas metodologias, no projeto, deu-se início na escolha da pessoa adequada para monitorar e gerenciar as atividades.

As atividades descritas no método DMADV, utilizadas neste projeto, mostraram que, se elas forem aplicadas acertadamente, as metas estabelecidas na atividade *Project Charter* da etapa *Define* serão alcançadas.

Desta maneira, este trabalho tornou capaz a união de duas metodologias consagradas, APQP e *Lean Six Sigma*, no gerenciamento do DNP, sendo que ambas estão introduzidas no desenvolvimento diário de inúmeras empresas de pequeno, médio e grande porte, ou seja, instrumentos disponíveis, de fácil assimilação e aplicação nas atividades de operações.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade de trabalhos após a presente dissertação, para projetos futuros, o autor verificou a possibilidade da aplicação deste modelo de gerenciamento, em uma ou mais empresas de diversas áreas de bens de consumo, ampliando as atividades utilizadas e tornando-o mais abrangente. Desta maneira foram elencados alguns pontos a serem levados em consideração:

- Observar que o prazo estabelecido pelo cliente deva permitir que as atividades sejam executadas, para obter sucesso no desenvolvimento do produto;
- Escolher cuidadosamente a equipe que irá participar do programa que deve ser multidisciplinar engajada no sucesso da metodologia;
- Determinar que as atividades que sejam executadas pela engenharia, de acordo com o produto e recursos da empresa;
- Garantir um bom fluxo de informações, no que diz respeito as respostas obtidas nas atividades das etapas do DMADV.

Para concluir, ao analisar os resultados alcançados, é possível considerar que houve contribuição para o entendimento e aprendizado das metodologias utilizadas no gerenciamento do DNP em uma empresa automotiva. Deseja-se que a difusão do conhecimento conquistado e a execução deste método, proporcione decisões mais assertivas para a engenharia de DNP e desenvolvimento de produtos mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9000:** Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e Vocabulário. Rio de Janeiro, 2000. 26p.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **AIAG PPAP:** Production Part Approval Process (PPAP). Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation, 2006. 74p.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **AIAG APQP:** Advanced Product Quality Planning and Control Plan. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation, 2008. 116p.

ALLEN, T. T. **Introduction to Engineering Statistics and Six *Sigma*:** Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems. New York City: Springer, 2006, 523 p.

ANDERSSON, R.; ERIKSSON, H.; TORSTENSSON, H. Similarities and Differences Between TQM, *Six Sigma* and Lean. **The TQM Magazine**, United Kingdom, v. 18, n. 3, p. 282-296, out. 2006.

ANDRADE, G. E. V.; MARRA, B. A.; LEAL, F.; MELLO, C. H. P. **Análise da Aplicação Conjunta das Técnicas SIPOC, Fluxograma e FTA em uma Empresa de Médio Porte**. *In:* XXXII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Bento Gonçalves, 2012. p. 1-14.

ANTHONY J.; KUMAR M. Lean and *Six Sigma* Methodologies in NHS Scotland: An empirical study and directions for future research. **Quality Innovation prosperity**, Slovak Republic, v. 16, n. 2, p. 19-34, out./dez. 2012.

ANTONY, J.; BANUELAS, R. Key Ingredients for the Effective Implementation of *Six Sigma* Program. **Measuring Business Excellence**, United Kingdom, v. 6, n. 4, p. 20-27, dez. 2002.

BERTOCCHI, M. **Segurança Veicular**: Acidentes de trânsito, colisões veiculares, cintos de segurança, airbag, história da segurança veicular, dados sobre acidentes, proteção aos pedestres e muito mais. São Paulo: Skill Elaboração de Materiais Didáticos Ltda., 2005, 219 p.

BREYFOGLE III, F. W. **Implementing Six Sigma:** Smarter Solutions Using Statistical Methods. Austin, Texas: Founder and President Smarter Solution, Inc., 2003, 1187 p.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product Development Performance:** Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry. Boston: Harvard Business School Press, 1991, 432 p.

CLARK, K. B.; WHEELWRIGHT, S. C. **Managing New Product and Process Development:** Text and Cases. New York - Harvard Business School: The Free Press a Division of Macmillan, Inc., 1993, 324 p.

CONDOTTA, A. da S. **Melhoria do Processo de Desenvolvimento de Produto em uma Empresa do Setor Automotivo**. Orientador: Gilberto Dias da Cunha. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CORONADO, R. B.; ANTONY, J. Critical Success Factors for the Successful Implementation of *Six Sigma* Projects in Organisations. **The TQM Magazine**, United Kingdom, v. 14, n. 2, p. 92-99, abr. 2002.

CHRISSIS, M. B.; KONRAD, M.; SHRUM, S. **CMMI for Development:** Guidelines for Process Integration and Product Improvement. Boston: Pearson, 2011, 688 p.

DENOVE, C.; POWER IV, J. D. **Satisfaction:** How Every Great Company Listens to the Voice of the Customer. Portfolio: Penguin Group (USA) Inc., 2006, 47 p.

DQS, *Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen*. **Revisão ISO/TS 16949 para IATF 16949**: Principais mudanças publicadas no Draft. DQS do Brasil, São Paulo, 2016. Disponível em https://dqs.com.br/cursos-old/revisao-isots-16949/. Acesso em: 06 dez. 2020.

ECKES, G. **A Revolução Seis *Sigma*:** O método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros. Rio de Janeiro: Campus, 2001, 269 p.

FERNANDES, S. T.; MARINS, F. A. S. Aplicação do Lean *Six Sigma* na Logística de Transporte. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 12, n. 2, p. 297–327, jun. 2012.

FERREIRA, F. P. **Análise da Implantação de um Sistema de Manufatura Enxuta em uma Empresa de Autopeças**. Orientadores: Francisco Cristóvão Lourenço de Melo; Cyro Alves Borges Junior. 178 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional do Departamento de Economia, Contabilidade e Administração) – UNITAU, Universidade de Taubaté, Taubaté - SP, 2004.

FITZGERALD, M. Five Common Lean Maintenance Missteps: How to avoid the five most common mistakes made by manufacturers on their journey to Lean maintenance. **Industry Week**, v. 260, n. 8, p. 32-33, ago. 2011.

FLORAC, W. A.; CARLETON, A. D. **Measuring the Software Process:** Statistical Process Control for Software Process Improvement. Boston, São Francisco: Addison-Wesley, 1999, 39 p.

FREITAS, H; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A. Z.; MOSCAROLA, J. O método de Pesquisa Survey. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 105-112, jul./set. 2000.

GEORGE, M. L. **Lean Six Sigma:** Combining *Six Sigma* Quality with Lean Production Speed. New York: McGraw-Hill Companies, 2002, 322 p.

GUIGUER FILHO, D. **Co-Desenvolvimento de Produto – Um Estudo na Indústria Automotiva.** Orientador: Paulo Carlos Kaminski. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

GUPTA, P. **Six Sigma Business Scorecard**: Creating a Comprehensive Corporate Performance Measurement System. Praveen Gupta: Tata McGraw-Hill Edition, 2006, 234 p.

HAMMER, M. Process Management and the Future of *Six Sigma*. **MIT Sloan Management Review,** Cambridge, v. 43, n. 2, p. 26-32, jan. 2002.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma:** The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World´s Top Corporations. New York: Currency Book Publishers, 2000, 318 p.

HOYLE, D. **Automotive Quality Systems Handbook**. Boston: Butterworth Heinemann, 2000, 592 p.

IATF - ***International Automotive Task Force*:** About IATF. IATF Global Oversight, 2021. Disponível em: https://www.iatfglobaloversight.org/about-iatf/. Acesso em: 03 jan. 2021.

ISHIKAWA, K. **Controle de Qualidade Total:** À Maneira Japonesa. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1993, 222 p.

JOGLEKAR, A. M. **Statistical Methods for Six Sigma:** In R&D and Manufacturing. New Jersey and Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2003, 321 p.

JUSBRASIL, **Artigo 65 da Lei nº 9.503 de 23 de Setembro de 1997**. Disponível em: https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10619728/artigo-65-da-lei-n-9503-de-23-de-setembro-de-1997. Acesso em 07 mar. 2021.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade.** Rio de Janeiro: Editora LTC, 2000, 131 p.

KENNEDY, M. N. **Product Development for the Lean Enterprise:** Why Toyota's System is Four Times More Productive and How you can Implement It. Virginia: The Oaklea Press, 2003, 253 p.

LUCINDA, M. A. **Qualidade:** Fundamentos e práticas para cursos de graduação. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia Ltda., 2010, 61 p.

MANJUNATH, H. S. R.; BARGERSTOCK, A. Exploring the role of standard costing in *Lean Manufacturing* enterprises: A Structuration Theory Approach. **Management Accounting Quarterly**, v. 13, n. 1, p. 47-60, 2011.

MASCITELLI, R. **The Lean Product Development Guidebook**: Everything Your Design Team Needs to Improve Efficiency and Slash Time-to-Market. Northridge: Technology Perspectives, 2006, 308 p.

MAUER, S. L.; GUERREIRO, K. M. da S. **Implantação da ISO/TS 16949:2010**. In: I CONGRESSO DE PESQUISA E EXTENSÃO DA FSG, 2013. Caxias do Sul. Anais... v. 1, n. 1, p. 1-20, 2013.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2003, 311 p.

MILAN, G. S.; REIS, Z. C. dos; COSTA, C. A. A implementação dos conceitos Lean no processo de desenvolvimento de novos produtos (DNP). **Qualit@s Revista Eletrônica**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 1-14, jan./jun. 2015.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade.** Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016, 572 p.

MOUSA, A. Lean, *Six Sigma* and Lean *Six Sigma* Overview. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 4, n. 5, pg.: 1137-1153, maio, 2013.

NOGUEIRA, R. R. **Análise da implementação do Lean Six Sigma com foco na ferramenta DMAIC em uma indústria de fios**. Orientador: Syntia Lemos Cotrim. TCC Engenharia de Produção. Universidade Estadual de Maringá. Maringá - PR, 2015.

NOVOVAREJO. **A história do cinto de segurança.** Disponível em: https://novovarejo.com.br/cinto-de-seguranca-historia-evolucao/. Acesso em: 04 mar. 2021.

PANDE, P. S. **Estratégia Seis *Sigma*:** Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001, 442 p.

PIMENTA, L. C. **APQP:** Caracterização da aplicação da metodologia de gestão de desenvolvimento de produtos em fornecedores dos setores de linha branca e automotivo. Orientador: Néocles Alves Pereira. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2009.

PISSINATTI, T. P.; FRANCO, J. C.; REZENDE, J. P. Inter-relação da ferramenta APQP e do guia PMBOK para eficiência nas etapas de implementação de novos projetos na indústria automotiva. **Iberoamerican Journal of Project Management (IJoPM)**, v. 5, n. 1, p. 21-41, 2014.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico:** Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. Rio Grande do Sul: Universidade Feevale, 2013, 276 p.

PYZDEK, T. **The Six Sigma Project Planner:** A Step-by-Step Guide to Leading a *Six Sigma* Project Through DMAIC. New York: McGraw-Hill Edition, 2003 264 p.

REIS, M. F. C. T. **Metodologia da Pesquisa**. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009, 177 p.

ROTONDARO, R. G.; BALESTRASSI, P. P.; BRAZ, M. A.; CARVALHO, M. M. de; HO, L. L.; LAURINDO, F. J. B.; NAKANO, D.; MIYAKE, D. I.; RIBEIRO, C. O.; RAMOS, A. W. **Seis *Sigma***: Estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Editora Atlas, 2002, 376 p.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S. L. S.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produto**s: Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Editora Saraiva, 2012, 542 p.

SANTOS, M.; VELOSO NETO, H. **A norma IATF 16949:2016**: mudanças, transições, caminhos e oportunidades. Isla: Instituto politécnico de gestão e tecnologia, CESQUA, v. 1, n. 1, p. 69-91, abr. 2018. Disponível em: https://www.cesqua.org/index.php/cesqua/article/view/15/9. Acesso em: 10 jan. 2021.

SEBRAE. **5W2H:** tire suas dúvidas e coloque produtividade no seu dia a dia. 2017. Disponível em: https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/5w2h-tire-suas-duvidas-e-coloque-produtividade-no-seu-dia-a-dia,06731951b837f510VgnVCM1000004c00210aRCRD. Acesso em: 31 jan.2021.

SILVA, I. B. da; MIYAKE, D. I.; BATOCCHIO, A.; AGOSTINHO, O. L. Integrando a promoção das metodologias *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* na busca de produtividade e qualidade numa empresa fabricante de autopeças. **Gestão & Produção**, São Paulo, v.18, n. 4, p. 687-704, 2011.

SILVA, C. E. S. da; MELLO, C. H. P.; SIQUEIRA, N. F. G.; GODOY, H. A.; SALGADO, E. G. Aplicação do gerenciamento de riscos no processo de desenvolvimento de produtos nas empresas de autopeças. **Produção,** São Paulo, v. 20, n. 2, p. 200-213, abr./jun. 2010.

SILVA, L. C.; OLIVEIRA, M. C.; SILVA, F. A. Implementação da metodologia Seis *Sigma* para melhoria de processos utilizando o ciclo DMAIC: um estudo de caso em uma indústria automotiva. **Exacta – EP**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 223-232, abr./jun. 2017.

SILVA, G. S. da; SOUZA, G. C. R. de; CAMPOS, P. S. Aplicação da ferramenta FMEA em processo de injeção plástica na prevenção de falhas: Um estudo de caso. **Revista científica**, Goiás, v. 1, n. 145, p. 1-15, nov. 2018.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** São Paulo. Editora Atlas, p. 748, 2002.

STRAFACCI NETO, G. **Esse é o ano da IATF 16949**: Sua organização está preparada? Engenharia 360, 2017. Disponível em: https://engenharia360.com/esse-e-o-ano-da-iatf-16949-sua-organizacao-esta-preparada/. Acesso em: 23 jan. 2021.

TAIICHI, O. **Toyota production system:** Beyond large-scale production. New York. CRC press – Taylor & Francis Group, p. 176, 1988.

TAYNTOR, C. B. **Six Sigma Software Development**. Florida. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. Auerbach Publications, p. 488, 2003.

THOMAS, C. C.; DEAK, M.; ALESSI, D. R.; AALTEN, D. M. Van. High-resolution structure of the pleckstrin homology domain of protein kinase B/ Akt bound to phosphatidylinositol (3, 4, 5) trisphosphate. **Elsevier Science Ltd. Current Biology**, v. 12, n. 14, p. 1256-1262, 2002.

TODORUT, A. V.; RÃBONTU, C. I.; CÎRNU D. LEAN MANAGEMENT: The way to a performant enterprise. **Annals of the University of Petrosani, Economics,** v. 10, n. 3, p. 333-340, 2010.

TOLEDO, J. C.; ALLIPRANDINI, D. H.; FERRARI, F. M.; MARTINS, M. F.; MARTINS, R. A.; SILVA, S. L. da. **Modelo de Referência para Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produto:** Aplicações na indústria de autopeças. São Carlos-SP. Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade, Departamento de Engenharia de Produção – UFSCar, p. 343, 2002.

TREICHLER, D.; CARMICHAEL, R.; KUSMANOFF, A.; LEWIS J.; BERTHIEZ G. Design for *Six Sigma*: 15 lessons learned. Milwaukee. **Quality Progress,** v. 35, n. 1, p. 33-42, 2002.

VIEIRA, S. **Análise de Variância:** Anova. São Paulo: Editora Atlas, 2006, 206 p.

WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis *Sigma***. Minas Gerais: Editora Werkema, 2004, 253 p.

WERKEMA, C. **DFLSS-Design for Lean Six Sigma**: Ferramentas básicas usadas nas etapas D e M do DMADV. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2012, 264 p.

WERKEMA, C. **Lean Seis *Sigma***: Introdução às ferramentas do *Lean Manufacturing*. São Paulo: Editora Atlas, 2020-a, 118 p.

WERKEMA, C. **Método PDCA e DMAIC e suas ferramentas Analíticas.** São Paulo: Editora Atlas, 2020-b, 201 p.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Planejamento e Análise de Experimentos:** Como identificar as principais variáveis influentes em um processo. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996, 294 p.

WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K. B. **Revolutionizing product development:** Quantum Leaps in Speed, Efficiency and Quality. New York: The Free Press A Division of Simon & Schuster Inc., 1992, 139 p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A MÁQUINA QUE MUDOU O MUNDO:** Baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 2004, 332 p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **LEAN THINKING**: Banish Waste and Create Wealth for Your Corporation. New York: Editora Free Press, 2010, 734 p.

ANEXOS

ANEXO A – DFMEA I

Anexo I

SAVE LIVES	Validação de acordo com norma ECE R-16 ou norma de cliente	D.F.M.E.A. PROJETO DE CINTO DE SEGURANÇA		PADRÃO	FOLHA Nº	01
					CLIENTE	TODOS
		( ) CONJUNTO	Responsável pelo Projeto: Marcos A. Alves		D.F.M.E.A. PADRÃO	
		( ) SUBCONJUNTO	Data chave: Setembro 2020		MODELO	Subconj. do Mecanismo
		(x) COMPONENTE	Elaborado por: Marcos A. Alves		REVISÃO	01
EQUIPE MULTIDISCIPLINAR: Engenharia de Produto - Marcos A. Alves; Engenharia de Processo, Engenharia Experimental, Engenharia da Qualidade, Recebimento de materiais, Ferramentaria, Produção					Data Início	15/09/2020
					Data Revisão	15/09/2020

Item / Função	Requisitos/ Especificações	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Severidade	Classificação	Causas/ Mecanismos Potenciais das Falhas	Ocorrência	Controles atuais de Projeto Prevenção	Controles atuais de Projeto Detecção	Detecção	N.P.R.	Ações Recomendadas	Responsável	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	N.P.R.	Obs.
ALAVANCA DO MECANISMO																				
Encaixar no Suporte do Mecanismo	Quando montado no Suporte do Mecanismo deve girar livremente	Não encaixa no Suporte do Mecanismo	Perda da função primária, não monta	8		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	3	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		Monta mas com folga excessiva	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100	Realizar ensaio de bloqueio angular	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	2	40	Ensaio nº 120 / 20
		Monta mas fica muito justo	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100	Realizar ensaio de bloqueio angular	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	2	40	Ensaio nº 120 / 20
Material plástico deve resistir ao intemperismo	Não pode sofrer deformações que afetam o desempenho, quando submetido ao ensaio de intemperismo	Material plástico não resisti ao intemperismo	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Projetado conforme especificações	6	300	Realizar ensaio de bloqueio angular após o ensaio de intemperismo	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	4	80	Ensaio nº 120 / 20
ESFERA DE AÇO																				
Acionar Alavanca do Mecanismo numa desaceleração	Quando montado no Suporte do Mecanismo deve acionar a alavanca	Não aciona a Alavanca do Mecanismo	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100	Realizar ensaio de bloqueio angular	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	2	40	Ensaio nº 120 / 20
Deve resistir ao ensaio de corrosão	Resistir a corrosão conforme norma ECE R-16 ou norma do cliente	Não resiste ao ensaio de corrosão	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Projetado conforme especificações	6	300	Realizar ensaio de bloqueio angular após o ensaio de corrosão	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	4	80	Ensaio nº 120 / 20

Anexo II

SAVE LIVES	Validação de acordo com norma ECE R-16 ou norma de cliente	D.F.M.E.A. PROJETO DE CINTO DE SEGURANÇA		PADRÃO	FOLHA Nº	01
					CLIENTE	TODOS
		( ) CONJUNTO	Responsável pelo Projeto: Marcos A. Alves		D.F.M.E.A. PADRÃO	
		( ) SUBCONJUNTO	Data chave: Setembro 2020		MODELO	Subconj. do Mecanismo
		(x) COMPONENTE	Elaborado por: Marcos A. Alves		REVISÃO	01
EQUIPE MULTIDISCIPLINAR: Engenharia de Produto - Marcos A. Alves; Engenharia de Processo, Engenharia Experimental, Engenharia da Qualidade, Recebimento de materiais, Ferramentaria, Produção					Data Início	15/09/2020
					Data Revisão	15/09/2020

Item / Função	Requisitos/ Especificações	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Severidade	Classificação	Causas/ Mecanismos Potenciais das Falhas	Ocorrência	Controles atuais de Projeto Prevenção	Controles atuais de Projeto Detecção	Detecção	N.P.R.	Ações Recomendadas	Responsável	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	N.P.R.	Obs.
SUPORTE DO MECANISMO																				
Permitir montagem da Alavanca do Mecanismo	Alavanca do Mecanismo deve girar livremente quando montada no Suporte do Mecanismo	Alavanca do Mecanismo não encaixa no Suporte do Mecanismo	Perda da função primária, não monta	8		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	3	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		Alavanca do Mecanismo monta mas com folga excessiva	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100	Realizar ensaio de bloqueio angular	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	2	40	Ensaio nº 120 / 20
		Alavanca do Mecanismo monta mas fica muito justa	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5		Análise virtual em CAD	2	100	Realizar ensaio de bloqueio angular	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	2	40	Ensaio nº 120 / 20
Encaixar e montar na Placa do Mecanismo	Montar na Placa do Mecanismo sem que ocorra deformação do componente	Não monta na Placa do Mecanismo	Perda da função primária, não monta	8		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	3	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		Monta mas com folga excessiva	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100	Realizar ensaio de bloqueio angular	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	2	40	Ensaio nº 120 / 20
		Monta com muita interferência	Deformação do componente, causa intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100	Realizar ensaio de bloqueio angular	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	2	40	Ensaio nº 120 / 20
Material plástico deve resistir ao intemperismo	Não pode sofrer deformações que afetam o desempenho, quando submetido ao ensaio de intemperismo	Material plástico não resisti ao intemperismo	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Projetado conforme especificações	6	300	Realizar ensaio de bloqueio angular após o ensaio de intemperismo	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	4	80	Ensaio nº 120 / 20

Anexo III

SAVE LIVES	Validação de acordo com norma ECE R-16 ou norma de cliente	D.F.M.E.A. PROJETO DE CINTO DE SEGURANÇA	PADRÃO
		( ) CONJUNTO	Responsável pelo Projeto: Marcos A. Alves
		( ) SUBCONJUNTO	Data chave: Setembro 2020
		(x) COMPONENTE	Elaborado por: Marcos A. Alves

FOLHA Nº	01
CLIENTE	TODOS
D.F.M.E.A. PADRÃO	
MODELO	Subconj. do Mecanismo
REVISÃO	01
Data Início	15/09/2020
Data Revisão	15/09/2020

EQUIPE MULTIDISCIPLINAR: Engenharia de Produto - Marcos A. Alves; Engenharia de Processo, Engenharia Experimental, Engenharia da Qualidade, Recebimento de materiais, Ferramentaria, Produção

Item / Função	Requisitos/ Especificações	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Severidade	Classificação	Causas/ Mecanismos Potenciais das Falhas	Ocorrência	Controles atuais de Projeto Prevenção	Controles atuais de Projeto Detecção	Detecção	N.P.R.	Ações Recomendadas	Responsável	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	N.P.R.	Obs.
PLACA DO MECANISMO																				
Permitir montagem do Subconjunto do Mecanismo	Subconjunto do Mecanismo deve montar na Placa do Mecanismo sem que ocorra deformação dos componentes	Subconjunto do Mecanismo não monta na Placa do Mecanismo	Perda da função primária, não monta	8		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	3	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		Subconjunto do Mecanismo monta mas com folga excessiva	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100	Realizar ensaio de bloqueio angular	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	2	40	Ensaio nº 120 / 20
		Subconjunto do Mecanismo monta com muita interferência	Deformação do componente, causa intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Análise virtual em CAD	2	100	Realizar ensaio de bloqueio angular	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	2	40	Ensaio nº 120 / 20
Material plástico deve resistir ao intemperismo	Não pode sofrer deformações que afetam o desempenho, quando submetido ao ensaio de intemperismo	Material plástico não resisti ao intemperismo	Intermitência no acionamento	10		Erro nas especificações das dimensões de encaixe	5	Revisão nas dimensões dos encaixes	Projetado conforme especificações	6	300	Realizar ensaio de bloqueio angular após o ensaio de intemperismo	Engenharia de Produto	Imediato	Com a realização do bloqueio angular o sistema foi aprovado	10	2	4	80	Ensaio nº 120 / 20

ANEXO B – DFMEA II

Anexo I

SAVE LIVES	Validação de acordo com norma ECE R-16 ou norma de cliente	D.F.M.E.A. PROJETO DE CINTO DE SEGURANÇA	PADRÃO
		( ) CONJUNTO	Responsável pelo Projeto: Marcos A. Alves
		( ) SUBCONJUNTO	Data chave: Fevereiro 2021
		(x) COMPONENTE	Elaborado por: Marcos A. Alves

FOLHA Nº	01
CLIENTE	TODOS
D.F.M.E.A. PADRÃO	
MODELO	Conjunto Fecho
REVISÃO	01
Data Início	15/02/2021
Data Revisão	15/02/2021

EQUIPE MULTIDISCIPLINAR: Engenharia de Produto - Marcos A. Alves; Engenharia de Processo, Engenharia Experimental, Engenharia da Qualidade, Recebimento de materiais, Ferramentaria, Produção

Item / Função	Requisitos/ Especificações	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Severidade	Classificação	Causas/ Mecanismos Potenciais das Falhas	Ocorrência	Controles atuais de Projeto Prevenção	Controles atuais de Projeto Detecção	Detecção	N.P.R.	Ações Recomendadas	Responsável	Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	N.P.R.	Obs.
HASTE DO FECHO																				
Deve permitir montagem no veículo	Deve montar no veículo	Haste não monta no veículo	Perda da função primária, não monta	8		Erro nas especificações das dimensões da haste	3	Revisão nas dimensões da haste	Análise virtual em CAD	2	48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
						Erro na geometria do produto		Revisão no design da haste	Análise virtual em CAD	2	48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Deve girar para posicionar fecho corretamente no veículo, quando necessário	Deve posicionar no veículo	Não gira para posicionar fecho corretamente no veículo	Não cumpre a função primária, haste travada	8		Erro nas especificações das dimensões da haste	2	Revisão na cadeia de cotas da haste	Análise e estudo matemático em CAD/ Teste funcional em protótipo	2	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Deve garantir posicionamento no veículo, quando necessário	Deve posicionar na carroceria	Não garante o posicionamento no veículo	Haste quando fixada no veículo fica desalinhada	9		Erro na geometria do produto	4	Revisão no design da haste	Análise virtual em CAD	2	72	Estudo e análise em CAD/ Teste de montabilidade em protótipo	Engenharia de Produto	Imediato	Baseado nos ensaios, o posicionamento na carroceria é garantido	9	2	2	36	Ensaio nº 20 / 21
						Erro nas especificações das dimensões	4	Revisão nas dimensões da haste	Análise virtual em CAD	2	72					9	2	2	36	Ensaio nº 20 / 21
Deve permitir montagem dos elementos de fixação	Deve montar os elementos de fixação	Haste não permite montagem dos elementos de fixação	Não cumpre a função primária	8		Erro nas especificações das dimensões da haste	2	Revisão nas dimensões da haste	Análise virtual em CAD/ Teste funcional em protótipo	2	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Deve permitir montagem do rebite de fixação da carcaça do fecho	Deve montar o rebite	Não permiti a montagem do rebite	Não cumpre a função primária, não monta	8		Erro nas especificações das dimensões da haste	2	Revisão nas dimensões da haste	Análise virtual em CAD/ Teste funcional em protótipo	2	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Deve fazer interface de montagem com a carcaça do fecho	Deve montar na carcaça do fecho	Não faz interface de montagem com a carcaça do fecho	Não cumpre a função primária, não monta	8		Erro nas especificações das dimensões da haste	2	Revisão nas dimensões da haste	Análise virtual em CAD/ Análise de montagem em protótipos	2	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		Faz interface d montagem, porém com folga	Causa ruído	4		Erro nas especificações das dimensões da haste	2	Revisão nas dimensões da haste	Ensaio de ruído em câmara semi-anecoica conf. norma do cliente	5	40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Deve resistir ao ensaio de corrosão	Resistir a corrosão conforme norma do cliente	Não resiste ao ensaio de corrosão	Rompimento da haste e não retenção do usuário em uma colisão	10		Especificação errada do tipo de tratamento superficial	4	Verificar a especificação técnica do tipo de tratamento superficial	Projetado conforme especificações	6	240	Ensaio de corrosão acelerada em cabine de névoa salina	Engenharia de Produto	Imediato	Baseado nos ensaios realizados a haste resisti a corrosão	10	2	3	60	Ensaio nº 32 / 21

SOBRE OS AUTORES

MARCOS AURELIO ALVES - Graduações: Matemática pela UNISA (2006) e Engenharia Mecânica pela UNIP (2012). Pós-graduação em Projeto, Manufatura e Análise de Engenharia Auxiliados por Computador pelo SENAI (2007). Mestre do Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté (Término 2021). Atuando a 27 anos na Engenheira de Desenvolvimento de Produto da empresa Chris cintos de segurança ltda. Com ênfase em pesquisa e desenvolvimento de soluções para cinto de segurança veicular. Endereço para acessar o CV Lattes: http://lattes.cnpq.br/5106432817468823

MIROSLAVA HAMZAGIC - Experiência prática de quase 40 anos em engenharia e gestão da produção. Arquiteta por formação, especialização em Marketing e Engenharia de Segurança do Trabalho. Doutora em Engenharia de Produção. Pesquisadora na área de Produção Autônoma e Sustentável com Pós-Doutorado em andamento. Professora universitária com atuação nas áreas de graduação, extensão e pós-graduação. Coordenadora Pedagógica de cursos híbridos. Propriedade Intelectual para os projetos ECO-Kanban e ECO-K, com premiação nacional. Ações sociais em qualidade de vida no trabalho. Endereço para acessar o CV Lattes: http://lattes.cnpq.br/3375668037786148